www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

5e JAARGANG NUMMER 3 MAART 1940

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

HET ONDERZOEK VAN EINDVERSTERKERBUIZEN MET BEHULP VAN DE KATHODESTRAALBUIS

door A. J. HEINS van der VEN. 621.317.755 : 621.396.645

Voor het onderzoek van eindversterkerbuizen is het I_a-V_a-diagram het belangrijkste gegeven, mits men weet, in welk gebied van het diagram de bij het gebruik optredende spannings- en stroomwaarden zich bewegen, dwz. hoe de belastingslijn verloopt. Zoowel het I_a-V_a-diagram als de belastingslijnen kan men zich zeer gemakkelijk verschaffen met behulp van een kathodestraalbuis. De hiervoor noodige apparatuur wordt in dit artikel beschreven; met name wordt ook ingegaan op een aantal hulpinrichtingen, waardoor de assen en de noodige ijk-lijnen in het diagram op het fluorescentiescherm worden geschreven, en die het mogelijk maken om de diagrammen van twee te vergelijken eindbuizen gelijktijdig op het scherm te doen verschijnen. Om de belastingslijn op de juiste plaats in het diagram te krijgen, moet voor de afbuigspanningen van de kathodestraalbuis gebruik worden gemaakt van gelijkstroom-balansversterkers. Het verloop van de belastingslijn bij inductieve belasting wordt besproken en door een aantal voorbeelden toegelicht. Tenslotte wordt een toepassing van de installatie bij de ontwikkeling van eindpenthoden behandeld.

Het I_a-V_a-diagram en de belastingslijn

Wil men de prestaties van een eindbuis van een versterker of radiotoestel in het kort kenmerken, dan kan men volstaan met een opgave van de gevoeligheid, de vervorming als functie van het afgegeven vermogen, en eventueel het maximale vermogen, dat kan worden afgegeven, zonder dat roosterstroom gaat vloeien. Voor een nader onderzoek echter, met name voor het opzoeken van de oorzaken van afwijkingen of fouten, bijv. verschillen in vervorming bij verschillende buizen, moet men in het algemeen teruggrijpen tot het I_a-V_a-diagram, dat de feitelijke grondslag vormt voor het beoordeelen van de eigenschappen van een eindbuis. Dit diagram (*fig. 1*) geeft het verloop van de anodestroom I_a als functie van de anodespanning V_a, met de negatieve stuurroosterspanning V_g als parameter [1]). Uit het stel krommen zijn voor elk werkpunt de primaire grootheden van de buis: steilheid, inwendige weerstand en versterkingsfactor onmiddellijk af te lezen, zooals in het onderschrift der figuur is toegelicht. Er is echter ook een verband te leggen tusschen de vorm van het diagram en de bovengenoemde grootheden, zooals vervorming en afgegeven vermogen. Aangezien deze grootheden mede afhangen van de belastingsimpedantie, die in de anodeketen is opgenomen, dient hiervoor eerst te worden nagegaan, hoe de belasting van de buis in het I_a-V_a-diagram tot uitdrukking komt.

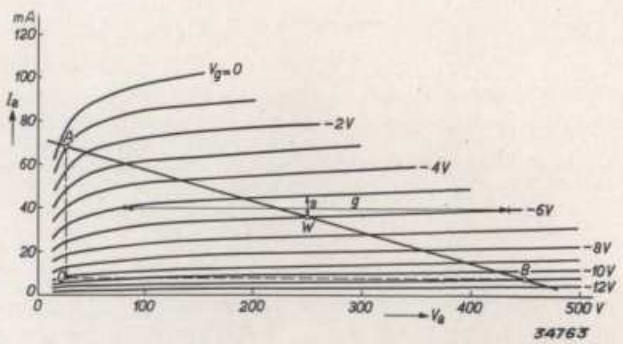


Fig. 1. Het I_a-V_a-diagram van de eindpenthode EL3. W is het werkpunt; het ligt bij deze buis normaal bij V_a = 250 V, I_a = 36 mA, V_g = −6 V. De schermroosterspanning is vast ingesteld op 250 V. De steilheid s wordt gegeven door de verticale afstand tusschen twee opeenvolgende krommen, de versterkingsfactor g door de overeenkomstige horizontale afstand, de inwendige weerstand door de helling van de I_a-V_a-kromme in het werkpunt. A B is de belastingslijn voor een zuivere weerstand van 7000 ohm.

Is de buis belast met een weerstand R, die — om in R geen gelijkspanningsverval te krijgen — via een transformator 1 : 1 in de anodeleiding is

[1]) De schermroosterspanning, die bij penthoden als tweede parameter optreedt, wordt voor het geheele diagram constant gehouden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

geschakeld (*fig. 2*), dan zal in R een wisselstroom I_R gaan vloeien, wanneer aan het rooster van de buis een wisselspanning wordt toegevoerd. De wisselspanning aan de belastingsweerstand is dan $V_R = -R \cdot I_R$. De totale anodespanning V_a en anodestroom I_a van de buis zijn gegeven door de som van V_R resp. I_R en de door het werkpunt

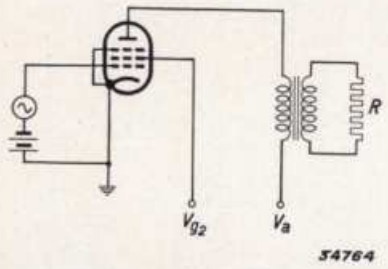


Fig. 2. In de anodeketen van de eindbuis is via een transformator 1 : 1 een belastingsweerstand R opgenomen.

gegeven waarden van de anodegelijkspanning, resp. -stroom. Het verband tusschen I_a en V_a van de belaste buis, de zg. belastingslijn, wordt dus in dit geval in het diagram voorgesteld door een rechte lijn door het werkpunt ($A\,B$ in fig. 1), met de helling $-R$ ten opzichte van de I_a-as.

De momenteele waarden van I_a en V_a worden steeds bepaald door het snijpunt van de belastingslijn met die I_a-V_a-kromme, welke bij de momenteele waarde van de roosterspanning behoort. Ligt het werkpunt bijv. op de kromme voor $V_g = -6$ volt en verloopt de roosterwisselspanning sinusvormig met een topwaarde van 5 V, dan geven de snijpunten van de lijn $A\,B$ met de krommen $V_g = -1$ V en $V_g = -11$ V de uiterste waarden van I_a en V_a. De afstand $A\,C$ is derhalve het dubbele van de optredende wisselstroomamplitude, de afstand $B\,C$ het dubbele van de wisselspanningsamplitude. Het vermogen, dat bij de desbetreffende roosterwisselspanning wordt afgegeven aan de belastingsweerstand, wordt dus gegeven door $^1/_4$ van het oppervlak van de driehoek $A\,B\,C$.

Voor zoover de opeenvolgende I_a-V_a-krommen gelijke stukken op de lijn $A\,B$ afsnijden, correspondeert met een verandering van de roosterspanning een evenredige verandering van anodespanning en anodestroom; er treedt dus geen vervorming op. Bij groote amplituden langs de belastingslijn echter worden de op $A\,B$ afgesneden stukken allengs kleiner (zie fig. 1), het verloop van anodespanning en anodestroom bij een sinusvormige roosterwisselspanning is dan niet sinusvormig, maar vertoont een afplatting. De optredende vervorming zou men kunnen berekenen door de afgesneden stukken op de belastingslijn nauwkeurig op te meten.

Is de belastingsimpedantie niet een zuivere weerstand, dan krijgt men geen rechte belastingslijn in het I_a-V_a-diagram. Afhankelijk van de roosterwisselspanning wordt dan een meer of minder groot gebied van het geheele diagram door de belastingslijnen bestreken. De kennis van dit gebied maakt het mogelijk, het belang van eventueel in het I_a-V_a-diagram voorkomende onregelmatigheden voor de weergave te beoordeelen.

In het volgende zal nu een methode worden beschreven, waardoor men zich zoowel het I_a-V_a-diagram als ook de belastingslijn zeer gemakkelijk kan verschaffen. Het principe van deze methode, die gebruik maakt van een kathodestraalbuis, is reeds eerder in dit tijdschrift aangestipt [2]), althans voor zoover betreft het opnemen der I_a-V_a-krommen. Hier zal iets dieper op de practische uitvoering van een en ander alsmede op enkele toepassingen worden ingegaan.

Installatie voor het opnemen van I_a-V_a-diagrammen

Een I_a-V_a-karakteristiek kan op de volgende wijze op het scherm van een kathodestraalbuis worden opgenomen. Aan het stuurrooster van de te onderzoeken eindbuis voert men een bepaalde gelijkspanning toe, terwijl men de anodespanning periodiek van nul tot een maximale waarde laat varieeren. Deze anodespanning wordt via een potentiometer en een versterker aan de platen voor horizontale afbuiging van de fluorescentievlek toegevoerd. De spanning aan een kleine meetweerstand, waardoor de anodestroom vloeit, veroorzaakt de verticale afbuiging, die dus op ieder oogenblik evenredig is met de anodestroom.

Om achtereenvolgens verschillende I_a-V_a-krommen op het scherm te schrijven, moet de roosterspanning telkens gedurende een korte tijd een andere waarde hebben. Aan het rooster moet dus een trapsgewijze varieerende spanning worden toegevoerd, en om een blijvend beeld op het scherm van de kathodestraalbuis te krijgen moet deze trapjesspanning een aantal malen per seconde in zijn geheel worden doorloopen.

De trapjesspanning wordt verkregen door middel van een roteerende schakelaar S_1, die over 28 contacten loopt (*fig. 3*). Hiervan zijn er 16 verbonden met de aftakkingen van een potentiometer, die beantwoorden aan de 15 treden van de gewenschte spanningstrap, zie *fig. 4*. Op de volgende 6 contacten (*17-22*) staat een groote negatieve

[2]) H. van Suchtelen, Toepassingen van kathodestraalbuizen IV, Philips techn. T. **3**, 347, 1938. Zie ook Philips techn. T. **4**, 52, 1939, waar een verwant probleem op andere wijze moest worden opgelost.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

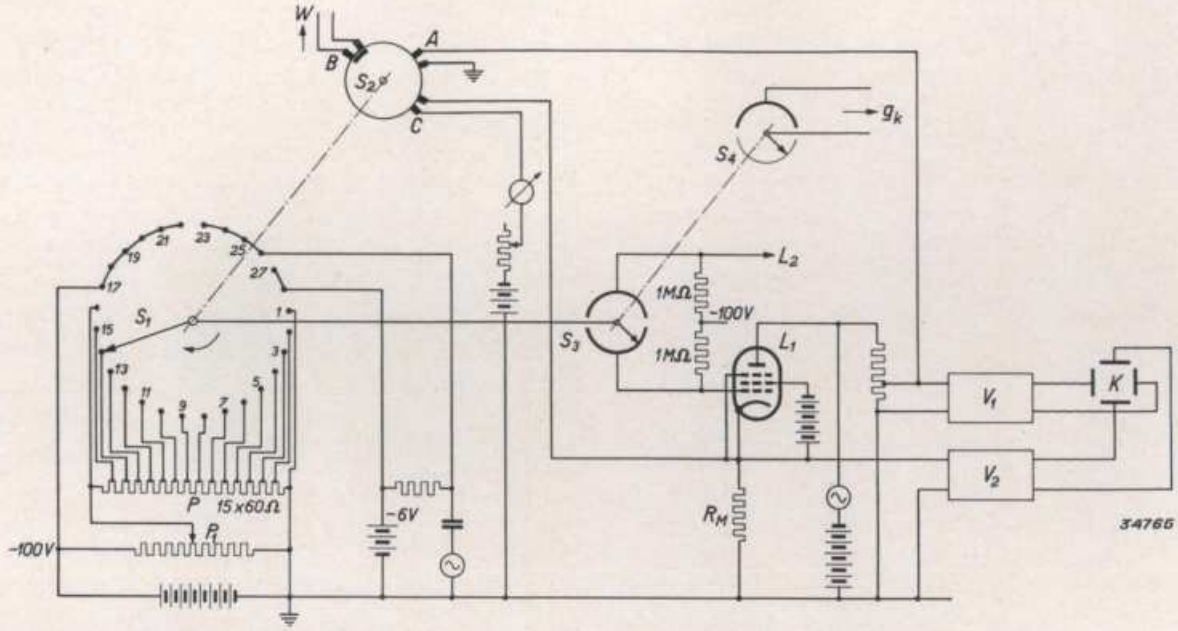


Fig. 3. De anodespanning van de te onderzoeken eindbuis L_1 wordt via de versterker V_1 aan de horizontale afbuigplaten van de kathodestraalbuis K toegevoerd, de spanning aan de meetweerstand R_M, waardoor de anodestroom vloeit, via de versterker V_2 aan de verticale afbuigplaten. Door middel van de roteerende schakelaar S_1 wordt de roosterspanning van de eindbuis trapsgewijze veranderd. De hulpschakelaar S_2, die op de as van S_1 is bevestigd, sluit op bepaalde momenten de borstelparen A, B, C kort, waardoor de diverse hulplijnen in het diagram op het fluorescentiescherm worden geschreven. De schakelaars S_3 en S_4, die met de halve snelheid van S_1 rondwentelen, dienen om de diagrammen van twee eindbuizen L_1 en L_2 tegelijk op te nemen, waarbij tevens de spanning aan de regelelectrode g_k van de kathodestraalbuis voor het ééne diagram wordt verlaagd. Met behulp van de potentiometer P_1 kan de stroom door de potentiometer P worden geregeld en daarmee de roosterspanningstrap meer of minder steil worden gemaakt.

spanning, zoodat de te onderzoeken buis gedurende deze tijd in het geheel geen anodestroom doorlaat. Door deze maatregel en door de groote snelheid, waarmede de schakelaar roteert (ca. 1000 omw/min), is het mogelijk het geheele I_a-V_a-diagram op te nemen, zonder dat de buis overbelast wordt.

Teneinde zich in het diagram te kunnen orienteeren, heeft men behalve de I_a-V_a-krommen nog de beide assen en de bijbehoorende schaal noodig. Hiervoor dienen de overige contacten en de hulpschakelaar S_2, die op de as van de roteerende schakelaar is bevestigd en over de borstelparen A, B, C loopt (fig. 3).

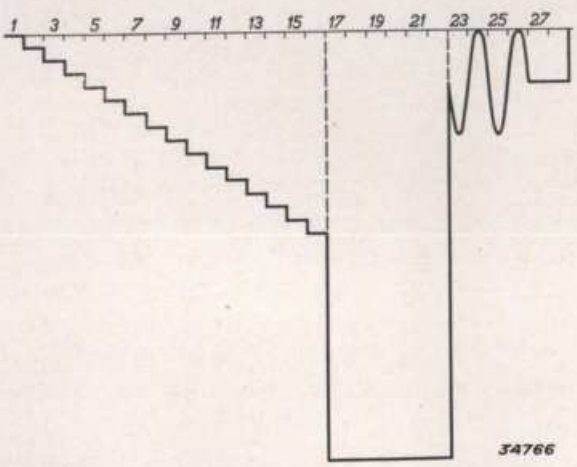


Fig. 4. Het verloop van de roosterspanning der te onderzoeken eindbuis bij één omwenteling van de roteerende schakelaar (S_1 in fig. 3).

De horizontale as ontstaat vanzelf, doordat in de stroomlooze periode (contacten *17-22*) de heen en weer zwaaiende fluorescentievlek niet in verticale richting wordt afgebogen. De verticale as wordt in het diagram geschreven, wanneer de schakelaar de contacten *23* en *24* passeert. Op dit oogenblik wordt nl. de ingang van de versterker voor de horizontale afbuigspanning kortgesloten via de borstels A. Op de contacten *23* en *24*, welke nu het rooster voeden, staat een wisselspanning, opdat de anodestroom voldoende varieert om de geheele I_a-as te beschrijven. Hetzelfde geldt voor de volgende twee contacten, *25* en *26*. Op het oogenblik, waarop deze met het rooster verbonden zijn, bewerkstelligt het tweede paar borstels B een vervanging van de anodewisselspanning door de normale anodegelijkspanning van bijv. 250 volt. Nu wordt dus de verticale lijn $V_a = 250$ V in het diagram geschreven, hetgeen het vinden van het werkpunt vergemakkelijkt en tevens de schaal voor de horizontale as levert. De schaal voor de verticale as wordt verkregen door tijdens de rustperiode van de buis (contacten *19* en *20*) even een gelijkstroom van bekende grootte door de meet-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

weerstand R_M te sturen; dit geschiedt door middel van het derde paar borstels C en levert in het diagram een horizontale lijn op bepaalde hoogte boven de V_a-as.

De nog overblijvende twee contacten *27* en *28* staan op een negatieve spanning van bepaalde grootte, bijv. —6 V. Hierdoor wordt de I_a-V_a-kromme met de parameter $V_g = -6$ V geschreven. Door de potentiometerstroom en daarmee de spanning der contacten *1-16* te regelen, kan men één der 15 I_a-V_a-krommen met de vaststaande kromme voor $V_g = -6$ V doen samenvallen, waardoor men dan ook de parameterwaarde voor alle andere krommen kent.

Overigens is het slechts zelden noodig, en soms met het oog op de overzichtelijkheid zelfs ongewenscht, om 15 I_a-V_a-krommen van het diagram op te nemen. Men maakt dan door opvoeren van de potentiometerstroom de spanningstrap in fig. 4 zoo steil, dat aan een gedeelte van de contacten *1-16* de spanning voldoende negatief is om de anodestroom van de eindbuis geheel te onderdrukken. In dat geval krijgt de buis dus een nog langere rustpoos.

Het onderling vergelijken van twee eindbuizen

Naast de roteerende schakelaar S_1 en de hulpschakelaar S_2 is nog een roteerende contactgever S_3 opgesteld, die met de halve snelheid rondwentelt (fig. 3 en *fig. 5*). Hiermede kan de volgens fig. 4

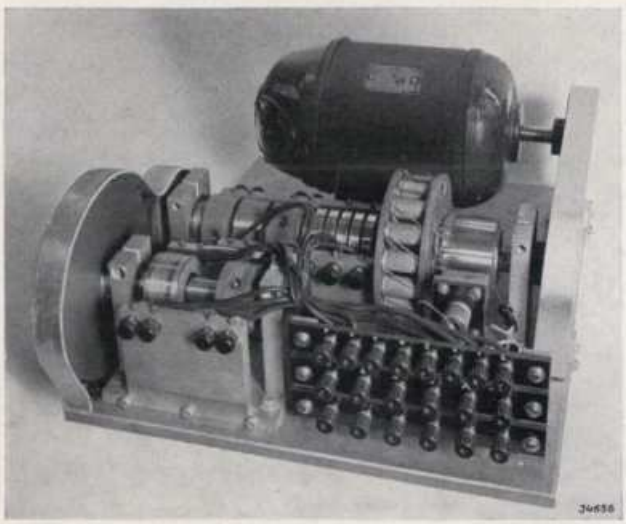


Fig. 5. Het aggregaat van roteerende schakelaars (in fig. 3 met S_1-S_4 aangeduid). Om constructieve redenen staat de schakelarm van S_1 (een borstel) stil, terwijl de 28 contacten (lamellen van een collector, middelste as rechts) er onder door draaien. De 15 weerstanden van de potentiometer P wentelen met de collector rond, de noodige spanningen worden via vijf sleepringen toegevoerd. De hulpschakelaar S_2 is, wederom om practische redenen, in drie contactgevers gesplitst (middelste as links). De voorste as draait met halve snelheid en draagt de twee schakelaars S_3 en S_4.

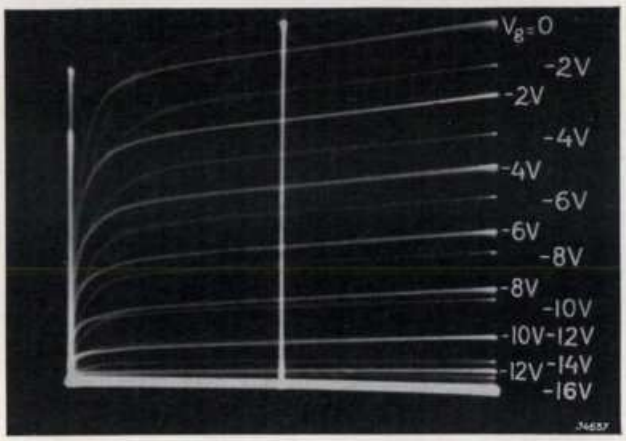


Fig. 6. Opname van de I_a-V_a-diagrammen van twee buizen tegelijk. Het ééne diagram is ter onderscheiding met zwakkere intensiteit geschreven.

verloopende roosterspanning beurtelings aan twee eindbuizen worden toegevoerd. Op het scherm van de kathodestraalbuis wordt dan afwisselend het I_a-V_a-diagram van de ééne en van de andere buis opgeteekend, en daar dit voor elk diagram ongeveer 10 maal per seconde geschiedt, zien we op het scherm de beide diagrammen tegelijk. Dit maakt het gemakkelijk om bijv. kleine onderlinge afwijkingen van twee buizen van eenzelfde type snel op te sporen. Om de twee stellen krommen van elkaar te kunnen onderscheiden, wordt gedurende de tijd, waarin de ééne buis is aangesloten, de stroomsterkte van de kathodestraal met behulp van de contactgever S_4 iets verminderd, zoodat het stel krommen van deze buis met kleinere lichtintensiteit op het scherm verschijnt.

Fig. 6 geeft een voorbeeld van een dergelijke toepassing der installatie. Men ziet, dat de ééne buis (krommen met zwakkere intensiteit) een kleinere steilheid heeft en een grootere maximale anodestroom bij $V_g = 0$ (bovenste kromme). Verder verloopen de I_a-V_a-krommen van deze buis minder dicht langs de I_a-as dan die van de andere buis, hetgeen de vervorming bij groote roosterwisselspanning ongunstig beïnvloedt. Zonder hierop verder in te gaan zij vermeld, dat deze afwijkingen veroorzaakt werden, doordat bij deze buis de kathode niet precies gecentreerd was ten opzichte van het stuurrooster.

Het schrijven van de belastingslijn

Wanneer men het I_a-V_a-diagram met een voor het fluorescentiescherm opgestelde camera heeft opgenomen, kan men op hetzelfde negatief ook de belastingslijn registreeren. Te dien einde brengt men eerst de eindbuis in de juiste bedrijfscondities, dwz. men stelt door geschikte gelijkspanningen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

aan rooster en anode het werkpunt in en neemt dan in de anodeketen via een transformator de belastingsimpedantie op. Wordt nu op het rooster een wisselspanning gezet en beeldt men weer de anodestroom als functie van de anodespanning op het scherm van de kathodestraalbuis af, dan verkrijgt men de belastingslijn. Hierbij treedt echter nog een complicatie op: zonder speciale maatregelen komt de belastingslijn niet op de juiste plaats in het diagram te staan. De gebruikelijke versterkers, zooals die bijv. in kathodestraaloscillografen worden gebruikt, geven nl. geen gelijkspanningen door. Wordt via een dergelijke versterker een spanning aan de kathodestraalbuis toegevoerd, waarvan de gemiddelde waarde niet nul is, die dus een zekere gelijkspanningscomponent heeft, dan stelt zich het beeld op het scherm steeds zoodanig in, dat deze gemiddelde spanningswaarde midden op het scherm komt. Bij het gebruik van dergelijke versterkers wordt dus het I_a-V_a-diagram zoodanig op het scherm afgebeeld, dat het middenpunt van het scherm het zwaartepunt van alle optredende spanningswaarden en van alle stroomwaarden is. Voor de belastingslijn geldt hetzelfde. In feite echter moet het middenpunt van de belastingslijn samenvallen met het werkpunt van het diagram, hetgeen beteekent, dat voor het gestelde doel versterkers moeten worden toegepast, die de gelijkspanningscomponent niet onderdrukken.

Voor het verkrijgen van geheel scherpe lijnen op het scherm van de kathodestraalbuis moet de potentiaal in het midden van elk stel afbuigplaten constant blijven (want hiervan hangt de focusseering van de electronenbundel af). Dit beteekent, dat de spanningen aan de afbuigplaten in een balansschakeling moeten worden toegevoerd. Men komt hier dus tot de eenigszins ongewone eisch van gelijkstroom-balansversterkers.

In *fig. 7* is in principe aangegeven, hoe de eerste trap van deze versterkers is uitgevoerd. De waarde der weerstanden is bijv.: $R_3 = 18\ R_1$, $R_4 = 2\ R_1$,

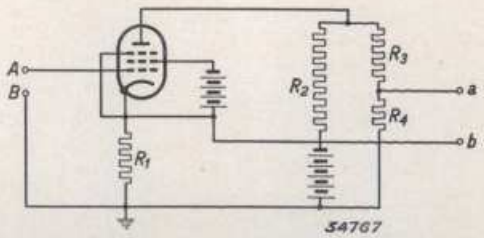


Fig. 7. Eerste trap van de gelijkstroom-balansversterkers voor de afbuigspanningen. Door geschikte dimensioneering der weerstanden R_1-R_4 wordt verkregen, dat bij toevoeren van een wisselspanning aan $A\ B$ de potentiaal in a op elk oogenblik evenveel stijgt als die in b daalt. De gemiddelde potentiaal in beide punten wordt door regeling van de anodegelijkstroom op dezelfde waarde ingesteld.

$R_2 = R_3 + R_4 = 20\ R_1$. Wordt aan de ingangszijde $A\ B$ een wisselspanning toegevoerd, dan ontstaat aan $R_3 + R_4$ een wisselspanning, welke 10 maal zoo groot is als die aan R_1. De wisselspanning over R_4 is dus gelijk aan die over R_1, maar van tegengestelde fase. Aangezien de potentiaal van a op elk oogenblik evenveel omhoog gaat als die van b omlaag, is de spanning tusschen a en b de gewenschte balansspanning, mits a en b dezelfde gemiddelde potentiaal hebben. Dit is te verwezenlijken door regeling van de anodegelijkstroom, bijv. met behulp van een instelbare weerstand in serie met de kathode of door een geschikte instelling van de schermroosterspanning. De verdere versterking der symmetrische helften van de balansspanning geschiedt op de voor gelijkstroomversterkers gebruikelijke wijze. Het volledige schakelschema is in *fig. 8* weergegeven. De punten a en b correspondeeren met de gelijknamige punten in fig. 7. Men ziet, dat bij de practische uitvoering voor de schermroosterspanning der eerste buis geen speciale batterij genomen is. Behalve de anodestroom vloeit nu ook de schermroosterstroom door de kathodeweerstand. Derhalve zijn de verhoudingen der weerstanden R_1-R_4 (fig. 7) iets gewijzigd.

In *fig. 9* is een foto van de geheele installatie weergegeven.

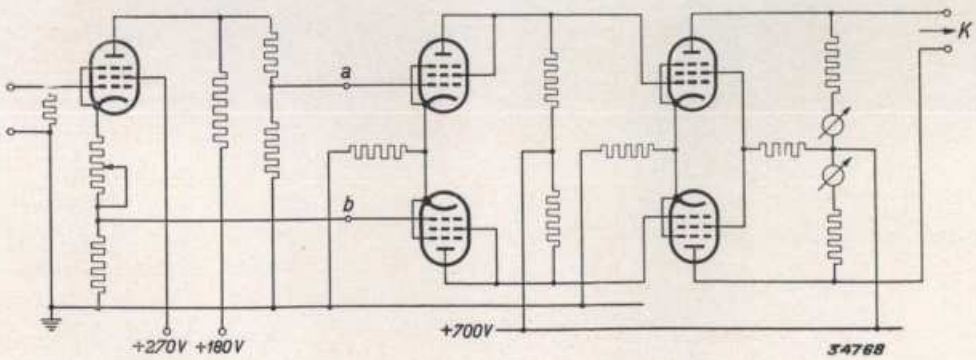


Fig. 8. Volledig schakelschema van de gelijkstroom-balansversterkers. a en b beantwoorden aan de gelijknamige punten in fig. 7.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

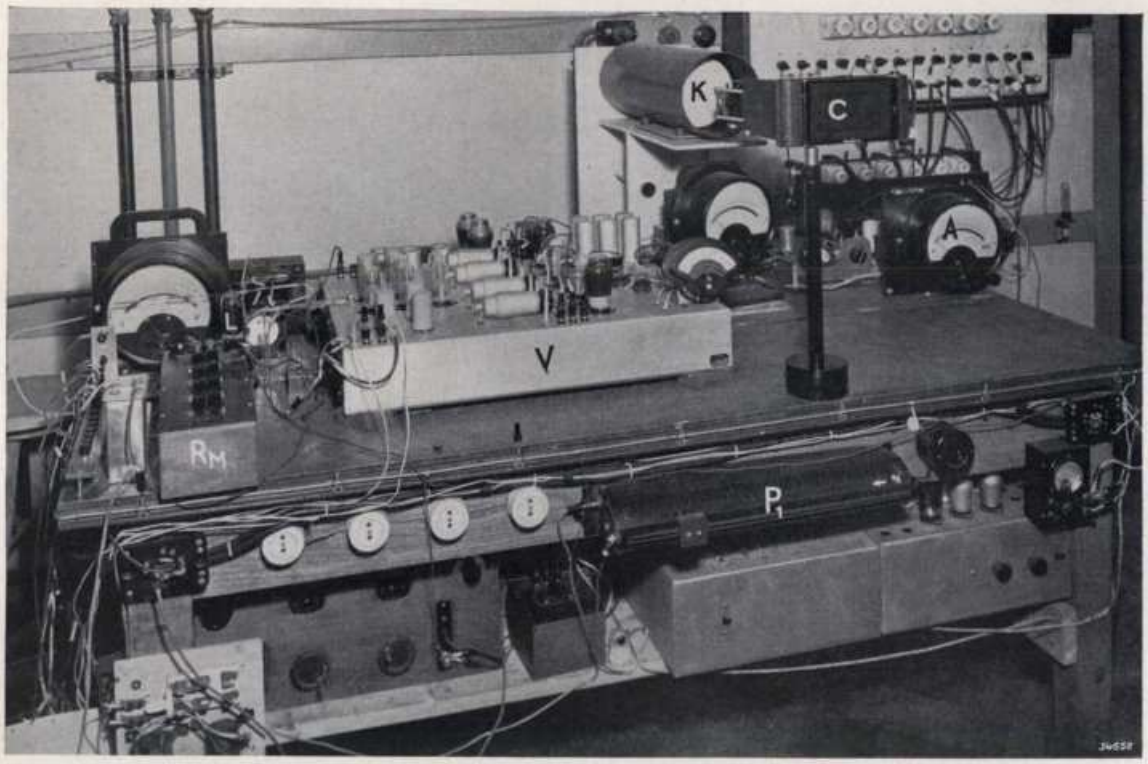


Fig. 9. Overzicht van de geheele installatie. L de te onderzoeken eindbuis, R_M de meetweerstand voor de anodestroom, V de beide versterkers voor de afbuigspanningen, K de kathodestraalbuis, C de voor het scherm opgestelde camera. Op de meter A kan de ijkstroom worden afgelezen, die in de rustpoos van de eindbuis (contacten *19-20* in fig. 4) door de meetweerstand R_M wordt gestuurd. Met de potentiometer P_1 wordt de steilheid van de roosterspanningstrap geregeld.

De belastingslijnen voor verschillende gevallen

In het eenvoudigste geval, dat de belasting van de eindbuis bestaat uit een zuivere weerstand, wordt de belastingslijn een rechte lijn door het werkpunt, zooals in fig. 1 reeds was voorgesteld. *Fig. 10* geeft een opname van een dergelijk geval. De belastingsweerstand was hierbij gelijk aan de zg. optimale weerstand, waarbij de eindbuis bij een bepaalde vervorming (10%) het grootste vermogen afgeeft. Voor eindpenthoden is de optimale waarde gewoonlijk gelijk aan het quotient van anodegelijkspanning en anodegelijkstroom. In dat geval kunnen nl. de amplituden van de anodewisselspanning en van de anodewisselstroom gelijktijdig hun maximale waarden bereiken, die ongeveer gelijk zijn aan de anodegelijkspanning, resp. anodegelijkstroom.

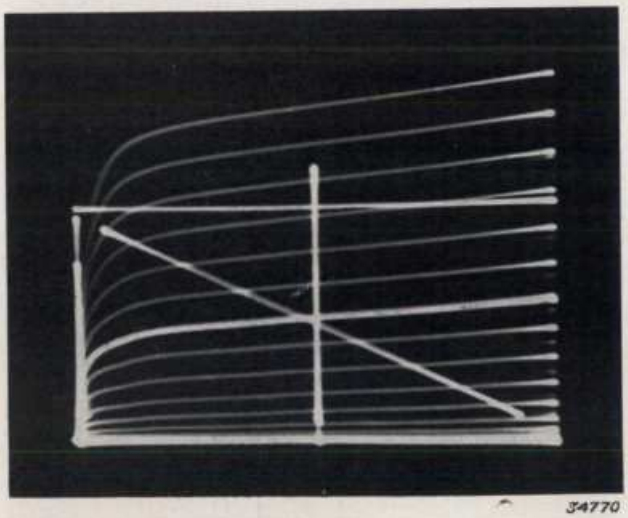


Fig. 10. Belastingslijn voor het geval, dat de eindbuis met een zuivere weerstand is belast. De weerstand heeft hier de optimale waarde: het werkpunt (op de kromme $V_g = -6{,}3$ V) ligt in het midden van het stuk, dat de assen op de rechte belastingslijn zouden afsnijden. De mede opgenomen ijk-lijnen zijn: $V_a = 250$ V, $I_a = 70$ mA, $V_g = -6$ V.

In practische gevallen bestaat de belasting van een eindbuis meestal uit één of meer luidsprekers. De impedantie hiervan is geen zuivere weerstand, maar voor een belangrijk deel van het frequentiegebied inductief, tengevolge van de zelfinductie van het luidsprekerspoeltje. Het verloop van de absolute waarde en de fasehoek der impedantie van een normale luidspreker van goede kwaliteit met bijpassende transformator is in *fig. 11* weergegeven. Als maatstaf voor de grootte der impedantie wordt in het algemeen de waarde bij 1000 per/sec genomen. Deze bedraagt hier ongeveer 7000 ohm, hetgeen overeenkomt met de optimale weerstand voor het normale werkpunt van de 9 watt penthode EL3. De fasehoek bij de genoemde frequentie is ca. 45°.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

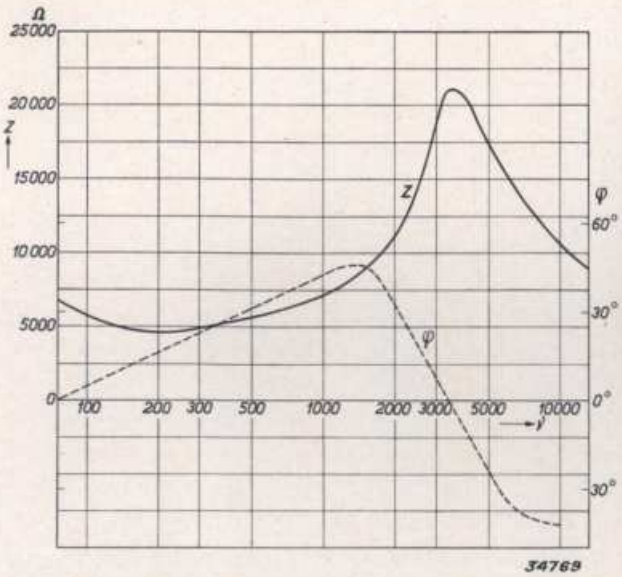


Fig. 11. Verloop van de absolute waarde Z en de fasehoek φ van de impedantie van een normale luidspreker van goede kwaliteit, als functie van de frequentie r in per/sec. Bij de meting was parallel met de primaire wikkeling van de luidsprekertransformator een condensator van 2000 $\mu\mu$F geschakeld, zooals dat in vele radio-ontvangers gebruikelijk is. Bij 1000 per/sec is $Z = 7000$ ohm. — Goedkoopere typen luidsprekers vertoonen in het algemeen een sterker verloopen van Z en φ met de frequentie.

Als gevolg van de faseverschuiving tusschen anodewisselstroom en -spanning wordt in het I_a-V_a-diagram van de eindbuis in het algemeen geen rechte lijn beschreven. Bij een roosterwisselspanning van bepaalde frequentie en amplitude krijgt men een min of meer ellipsvormige belastingslijn rondom het werkpunt. In *fig. 12* zijn een aantal dergelijke ellipsen weergegeven, die bij verschillende amplituden van de roosterwisselspanning worden verkregen. Bevat de roosterwisselspanning verschillende frequenties, dan ontstaan ingewikkelder figuren. Voorbeelden hiervan ziet men in *fig. 13* en *14*, waarbij twee frequenties aan het rooster werden toegevoerd, die tot elkaar stonden als 1 : 4, resp. 1 : 15, alsmede in *fig. 15*, waar drie frequenties waren gecombineerd. Tenslotte is in *fig. 16* het beeld weergegeven, dat men krijgt, wanneer men de met een luidspreker belaste eindbuis gedurende eenige tijd muziek laat versterken. Men kan nu niet meer spreken van een belastingslijn, maar van een belastingsveld, dat een meer of minder uitgestrekt gedeelte van het I_a-V_a-diagram beslaat.

De vorm van het I_a-V_a-diagram

Nadat men op deze wijze een inzicht heeft gekregen omtrent de grootte van het gebied, dat in het I_a-V_a-diagram wordt gebruikt, kan men de eischen nader preciseeren, waaraan het I_a-V_a-diagram moet voldoen, opdat zoo weinig mogelijk vervorming in de weergave optreedt en een zoo groot mogelijk vermogen wordt afgegeven.

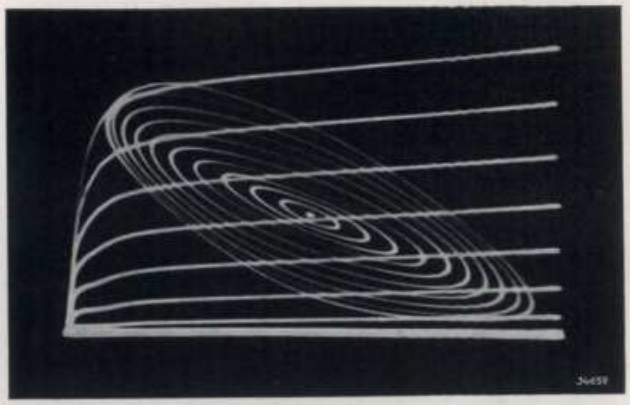


Fig. 12. Bij inductieve belasting van de eindbuis (aansluiting van luidsprekers) wordt de belastingslijn bij sinusvormige roosterwisselspanning een (min of meer vervormde) ellips rondom het werkpunt. In deze opname werd de amplitude der roosterwisselspanning stapsgewijze gevarieerd, bij constante frequentie.

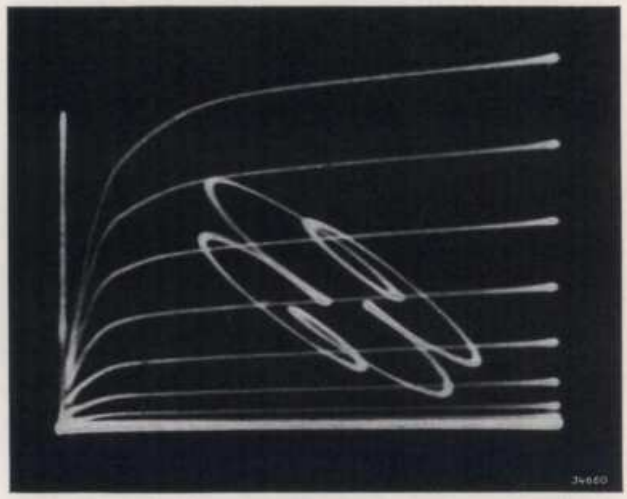


Fig. 13. Aan het rooster van de inductief belaste eindbuis werden twee wisselspanningen toegevoerd met een frequentieverhouding 1 : 4.

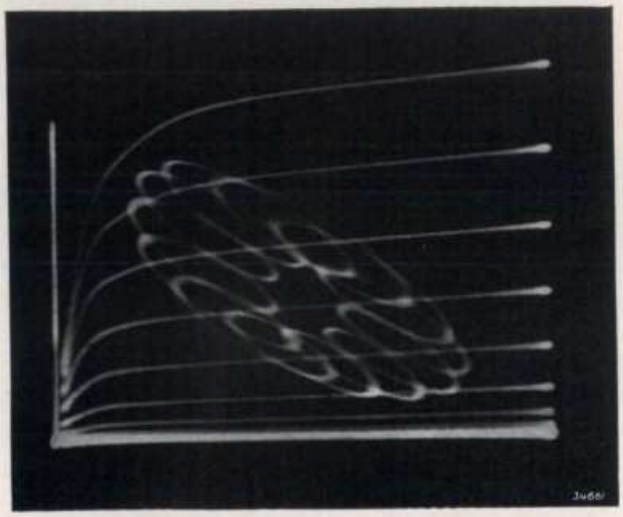


Fig. 14. Als fig. 13, echter met een frequentieverhouding 1 : 15.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

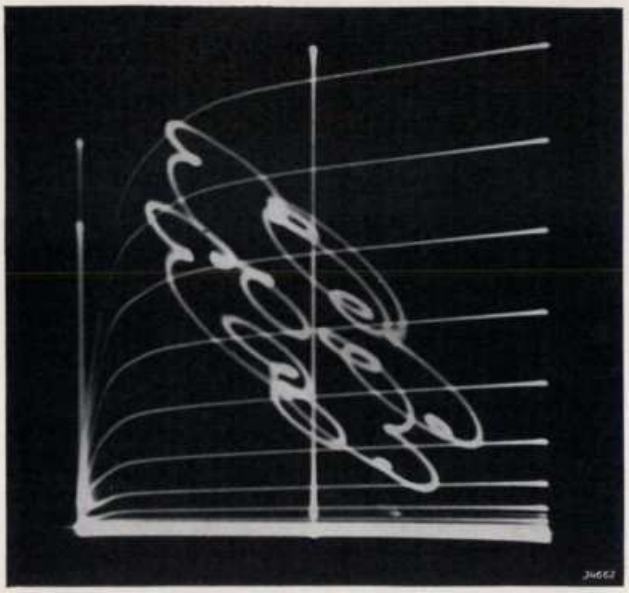


Fig. 15. Aan het rooster worden drie frequenties toegevoerd.

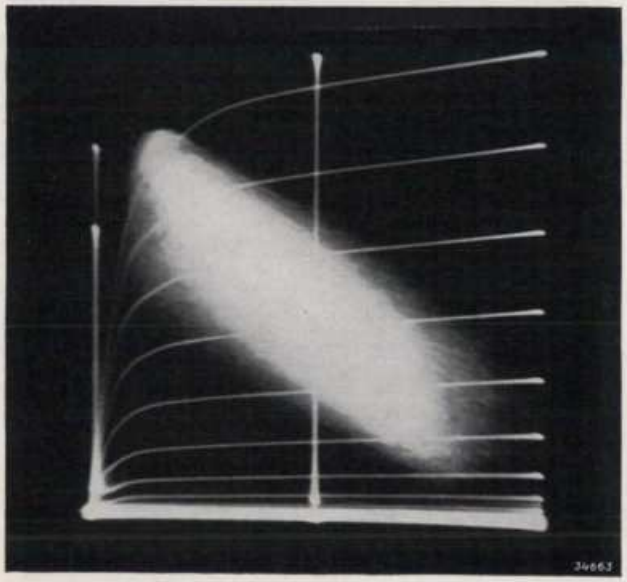
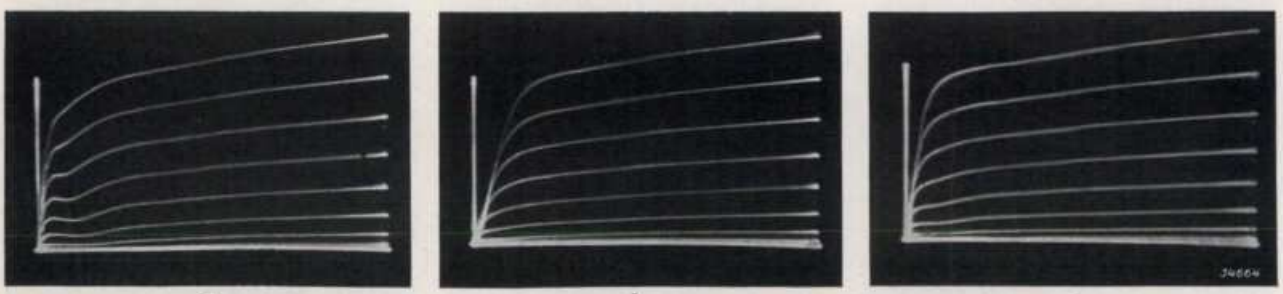


Fig. 16. Aan het rooster der eindbuis wordt gedurende eenige tijd de wisselspanning van muziek toegevoerd. In het I_a-V_a-diagram wordt nu een bepaald „belastingsveld" bestreken.

Aangezien de anodewisselspanning en daarmede het vermogen wordt begrensd door de opeenhooping der I_a-V_a-krommen nabij de verticale as, is het gewenscht, dat de krommen bij lage anodespanningen zoo dicht mogelijk langs de verticale as verloopen, of met andere woorden, dat in dit gebied de anodestroom zeer snel aangroeit met de anodespanning. Door de invoering van het schermrooster was het mogelijk, aan deze wensch te voldoen, zonder zooals bij de triode, tot positieve roosterspanning en het daarmee gepaard gaande energieverbruik van het rooster te moeten overgaan. Tevens treedt echter bij de zoo ontstane tetrode het verschijnsel op, dat secundaire electronen, die aan de anode ontstaan, naar het schermrooster kunnen gaan, waardoor een knik in de I_a-V_a-kromme wordt veroorzaakt (*fig. 17a*). Om deze knikken, die een sterke vervorming met zich meebrengen, te vermijden, brengt men een derde rooster (remrooster) aan, dat op kathodepotentiaal staat en dat de secundaire emissie van de anode naar het schermrooster onderdrukt. Bij de oudere typen penthoden was echter dikwijls deze onderdrukking zoo grondig, dat bij lage anodespanning ook een gedeelte van de primaire, door de kathode geëmitteerde, electronen vóór het derde rooster werd gedwongen om te keeren. Deze electronen waren dan voor de anodestroom verloren, en het resultaat was, dat de anodestroom minder snel met de anodespanning aangroeide.

Door een juiste keuze van de plaats en de afmetingen van het remrooster kan men de achteruitgang in af te geven vermogen, die hierdoor ontstaat, zeer klein houden. Bij dit ontwikkelingswerk bewijst de in dit artikel beschreven methode voor het opnemen der I_a-V_a-diagrammen goede diensten. Een verandering van plaats en afmetingen van het remrooster is tot op zekere hoogte aequivalent met een bepaalde verandering van zijn potentiaal. Door nu aan het remrooster — dat hiervoor



a *b* *c*

Fig. 17. Het I_a-V_a-diagram van een penthode bij verschillende potentialen van het remrooster. *a*) Het remrooster is te sterk positief. *b*) Het remrooster is te sterk negatief. *c*) Het remrooster heeft de gunstigste potentiaal. Deze waarde van de potentiaal geeft een aanwijzing, in welke richting plaats en afmetingen van het rooster gewijzigd moeten worden om met dit rooster op kathodepotentiaal hetzelfde resultaat te verkrijgen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

in tegenstelling met de normale constructie afzonderlijk naar buiten gevoerd moet zijn — verschillende negatieve of positieve spanningen toe te voeren en telkens het I_a-V_a-diagram te inspecteeren, kan men nagaan, bij welke spanning de gunstigste vorm van het diagram wordt verkregen. Fig. 17 laat drie opnamen uit een dergelijk onderzoek zien. In *a* zijn de knikken zeer uitgesproken en zou dus een sterke vervorming optreden; in *b* zijn de knikken geheel verdwenen, tevens groeit echter de anodestroom veel langzamer met de anodespanning; in *c* is het juiste compromis gevonden, waarbij de krommen steil oploopen, terwijl de knikken alleen nog in een gebied van het diagram aanwezig zijn, dat volgens het onderzoek van het belasting-veld (zie hierboven) in de practijk toch niet wordt gebruikt.

RÖNTGENTOESTELLEN VOOR MACROSCOPISCH MATERIAALONDERZOEK

door J. E. de GRAAF.

621.386.1 : 539.26

Bij het construeeren van röntgentoestellen, die gebruikt moeten worden voor macroscopisch materiaalonderzoek, doen zich tengevolge van het toepassen van hooge spanningen en groote stroomen, o.a. betreffende de isolatie van de toestellen en de kabels, alsmede betreffende de afmetingen van het focus van de röntgenbuis enkele problemen voor, die in dit artikel nader worden behandeld.

Inleiding

Voor het macroscopisch materiaalonderzoek, waarover vroeger [1]) reeds een serie artikelen in dit tijdschrift is verschenen, zijn door Philips speciale röntgentoestellen geconstrueerd, die eenvoudig zijn te bedienen en geen gevaar opleveren voor den gebruiker. In dit artikel willen wij enkele gezichtspunten nader bespreken, waardoor men zich bij de constructie dezer toestellen heeft laten leiden.

Het is de bedoeling met deze toestellen röntgenopnamen te maken van een groot aantal werkstukken, die groote afmetingen kunnen hebben. Hierbij is het economische gezichtspunt van tijdbesparing van veel belang. Naar de mate, waarin het onderzoek steeds meer wordt verplaatst van het laboratorium naar de werkplaats, worden deze overwegingen van grootere beteekenis. De voor een opname benoodigde tijd kunnen we nu splitsen in twee gedeelten, nl.:

1) zuivere belichtingstijd en
2) tijd, die noodig is voor het verplaatsen en instellen van de röntgenapparatuur.

Met het oog op dit tweede punt is het gewenscht er voor te zorgen, dat het toestel gemakkelijk is te hanteeren. Men zal het dus zoo klein en licht mogelijk willen construeeren. Wat anderzijds het binnen economisch verantwoorde grenzen houden van de zuivere belichtingstijd betreft, wordt het vooral bij het onderzoeken van zware werkstukken noodig over te gaan tot het gebruiken van hooge spanningen, zelfs tot enkele honderdtallen kilovolts. Bij toenemende spanning neemt nl. de benoodigde belichtingstijd voor het verkrijgen van eenzelfde zwarting zeer snel af [2]). Het probleem wordt dus, hoe men zoo goed mogelijk hooge spanningen kan verkrijgen zonder daarbij te vervallen in een apparatuur, waarmee men niet gemakkelijk kan werken.

Daar hoogspanningstransformatoren en -isolatoren veelal groot en zwaar worden, is de röntgenapparatuur voor het macroscopisch materiaalonderzoek direct al gesplitst in een aantal afzonderlijk te vervoeren onderdeelen, die dan ieder voor zich nog wel behoorlijk zijn te hanteeren. De röntgenbuis zelf is bovendien in een handig statief opgehangen, zooals bijv. in *fig. 1* is te zien. Het lastigste gedeelte blijft dan altijd nog de hoogspanningsgenerator, die nu eenmaal een zwaar geheel vormt.

Nu bestaat de mogelijkheid door middel van speciale schakelingen op de röntgenbuis het dubbele te verkrijgen van de spanning aan de hoogspanningstransformator, waardoor men dus voor het verkrijgen van een bepaalde spanning met een veel kleinere transformator kan volstaan. In *fig. 2* is een reeds vroeger in dit tijdschrift besproken [3]) schakeling weergegeven, die hiertoe gebruik maakt van

[1]) Philips techn. T. **2**, 315, 350, 377, 1937 en **3**, 93, 190, 1938.

[2]) Vgl.: fig. 5 in Philips techn. T. **2**, 315, 1937.

[3]) Philips techn. T. **1**, 6, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

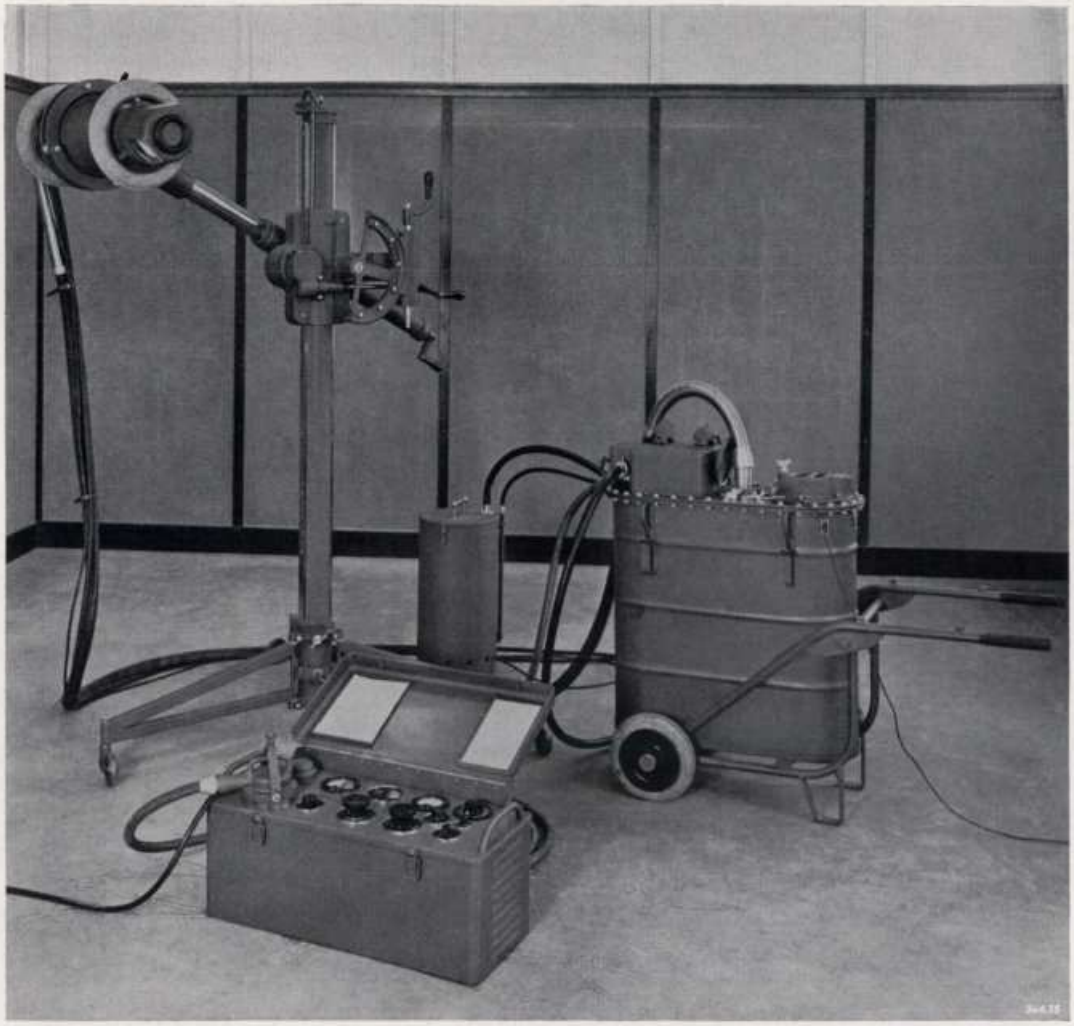


Fig. 1. Het röntgentoestel M 150 met geaarde anode, dat geschikt is voor 150 kV maximale spanning. Door het te splitsen in onderdeelen van geringe afmetingen en klein gewicht is bereikt, dat het gemakkelijk vervoerd kan worden. De schakeling is in fig. 2 aangegeven.

een ventielbuis V, welke parallel is geschakeld aan de röntgenbuis R. Tijdens de fase, waarin de ventielbuis een slechts kleine weerstand heeft, wordt de buffercondensator C geladen tot de topspanning

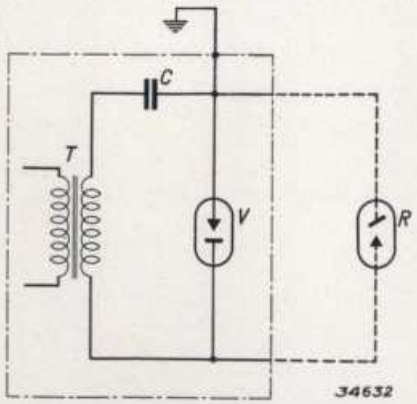


Fig. 2. Schakelschema, dat aan de röntgenbuis R een pulseerende spanning veroorzaakt, wier topwaarde ongeveer het dubbele bedraagt van de topspanning aan de transformator T. C buffercondensator. V ventielbuis.

van de transformator T, daar er dan practisch geen spanning komt te staan op ventielbuis en röntgenbuis. Gedurende de tegengestelde fase komt nu deze spanning op de condensator in serie te staan met de spanning van de transformator, zoodat tusschen de klemmen van röntgen- en ventielbuis dan ongeveer het dubbele van de topspanning aan de transformator zal heerschen. De spanning aan de röntgenbuis is steeds de som van de wisselspanning aan de transformator en een gelijkspanning ten bedrage van de topwaarde van deze transformatorspanning. De dubbele transformatorspanning treedt bij de schakeling volgens fig. 2 dus slechts gedurende korte oogenblikken aan de buis op, zoodat het toepassen van deze schakeling nog geenszins voor een bepaald vermogen dezelfde hoeveelheid röntgenstraling levert, als men bij het gebruiken van een constante spanning gelijk aan de dubbele topspanning zou verkrijgen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Teneinde een nagenoeg constante spanning op de röntgenbuis te krijgen, die vrijwel gelijk is aan het dubbele van de transformatorspanning, kan men gebruik maken van de in *fig. 3* weergegeven schakeling, waarin twee condensatoren en twee ventielbuizen zijn gebruikt. De condensator C_1 en de ventielbuis V_1 hebben precies dezelfde functie als in de schakeling volgens fig. 2. Op de momenten, dat V_1 de dubbele topspanning van de transformator draagt, heeft juist de tegen V_1 in geschakelde ventielbuis V_2 een kleine weerstand, zoodat de condensator C_2 dan hieroverheen snel zal worden geladen tot de dubbele topspanning. De condensator C_2 kan zich alleen ontladen over de röntgenbuis R, die een dusdanige weerstand heeft, dat dit slechts langzaam plaats vindt, zoodat op de röntgenbuis in deze schakeling een vrijwel constante spanning komt te staan, die slechts weinig minder is, dan de dubbele transformatorspanning.

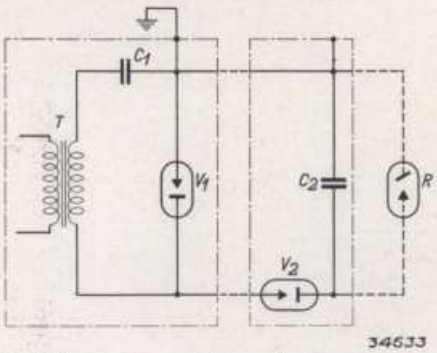


Fig. 3. Schakelschema voor het verkrijgen van een ongeveer constante spanning. C_1 en V_1 beteekenen hetzelfde als C en V in fig. 2. Aan die schakeling zijn nog een ventielbuis V_2 en een condensator C_2 toegevoegd.

De Philips toestellen zijn uitgevoerd volgens de schakeling van fig. 2 en men kan deze completeeren tot die volgens fig. 3 door middel van een bijbehoorend hulptoestel, dat de condensator C_2 en de ventielbuis V_2 bevat.

Zooals reeds werd opgemerkt, neemt de zwarting, die men op de fotografische plaat verkrijgt, zeer snel toe met de spanning op de buis. Daar bij de schakeling volgens fig. 3 de spanning nooit ver onder haar maximale waarde komt, is bij eenzelfde gemiddelde buisstroom reeds met een veel kortere belichtingstijd eenzelfde zwarting te verkrijgen, dan het geval is bij gebruik van de schakeling volgens fig. 2. In *fig. 4* is voor de beide schakelwijzen onderling vergeleken, hoe de op de fotografische film werkzame röntgenstraling verloopt met de dikte van het te onderzoeken voorwerp. De röntgenstraling wordt hierbij uitgedrukt in röntgen [4]) per minuut per mA, gemeten op 1 m afstand van het focus; de dikte van het materiaal wordt aangegeven door de aequivalente koperdikte in mm. In de figuur is te zien, dat bij groote koperdikten de schakeling volgens fig. 3 bij onze toestellen ongeveer een factor 3 gunstiger is dan die volgens fig. 2.

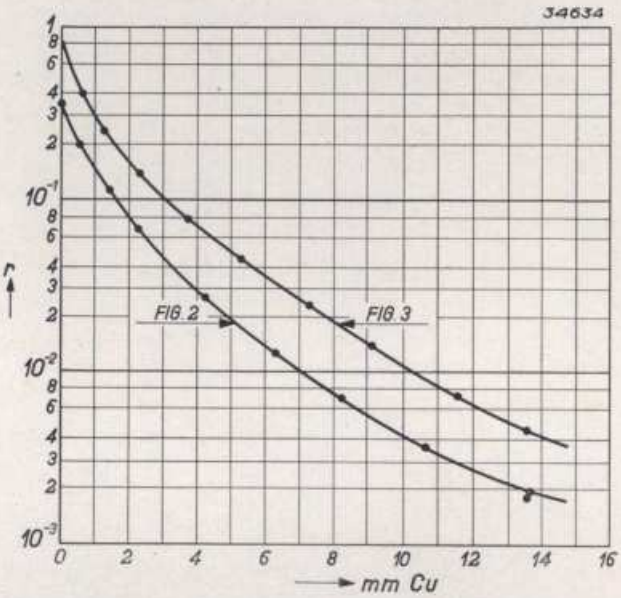


Fig. 4. Voor toestellen, die volgens fig. 2, resp. fig. 3, zijn geschakeld, is de op de fotografische plaat werkzame hoeveelheid röntgenstralen vergeleken. Deze wordt uitgedrukt in röntgen per min per mA en gemeten op 1 m afstand van het focus, achter verschillende dikten van het doorlichte voorwerp, welke worden uitgedrukt in mm koperdikte. Bij groote filterdikten nadert het voordeel van de schakeling volgens fig. 3 ten opzichte van die volgens fig. 2 tot een factor 3.

De isolatie

Teneinde bij het construeeren van röntgentoestellen voor materiaalonderzoek op het gewicht te besparen, is het van belang de groote bijdrage, die de isolatie daartoe levert, klein te houden. Het zou dus voor de hand liggen zooveel mogelijk van lucht gebruik te maken als isoleerend medium. Men komt dan echter tengevolge van de betrekkelijk lage doorslagspanning van lucht veelal tot zoo groote afmetingen, dat de toestellen onhandig zouden worden in het gebruik en ongeschikt voor het onderzoek in beperkte ruimten.

Daar vaste isolatiestoffen veel hoogere doorslagspanningen hebben, kan men daarmee tot veel compactere constructies komen. Er dient dan echter goed voor te worden gezorgd, dat er geen luchtblaasjes voorkomen, hetzij in de vaste isolator zelf, hetzij tusschen de isolatie en de gedeelten, die men moet isoleeren. De diëlectrische constante van lucht is nl. kleiner dan van alle vaste of vloeibare diëlectrica, zoodat de electrische veldsterkte in dergelijke luchtblaasjes grooter wordt dan in de

[4]) Een voorwerp ontvangt een röntgendosis van 1 r, indien tengevolge van de straling daar ter plaatse in 1 cm³ water 100 erg zou worden geabsorbeerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

omgevende isolator. Hierdoor ontstaat het gevaar, dat het gas in die blaasjes geïoniseerd wordt, hetgeen ontladingen, aantasting en tenslotte doorslag van de vaste isolator tengevolge kan hebben [5]).

Heeft men slechts te maken met eenvoudige constructies uit porcelein, pertinax of „Philite", of bijv. met de rubberisolatie van buigzame hoogspanningsleidingen, dan kan men het optreden van luchtblaasjes wel vermijden. Bij ingewikkelder constructies is het echter beter gebruik te maken van een vloeibaar isolatiemateriaal, bijv. minerale olie. Tevens isoleeren wij dan hiermee de verschillende gedeelten van de generator niet slechts ten opzichte van elkaar, maar ook van het metalen omhulsel, dat elk onderdeel van een modern röntgentoestel geheel omgeeft en geaard is, teneinde het voor den gebruiker onmogelijk te maken, dat hij onder spanning staande gedeelten zou aanraken.

Gebruikt men minerale olie als isolatiemateriaal, dan is het mogelijk, dat stofdeeltjes, die er in zweven, zich gaan verzamelen op plaatsen met een hooge veldsterkte, zoodat zij aanleiding kunnen geven tot doorslag, vooral indien zij vocht bevatten. Allereerst dient men natuurlijk door een goede reiniging het aantal in de olie zwevende stofdeeltjes en het daarin aanwezige water terdege te beperken, terwijl men tevens moet zorgen, dat er tijdens het gebruik geen verontreinigingen in de olie kunnen komen. In verband hiermee is in onze toestellen de olieruimte voor de ventielen, die toegankelijk moeten zijn voor den gebruiker, afgescheiden van die voor de transformatoren en condensatoren. Voorts wordt door een zorgvuldige impregnatie onder vacuum bereikt, dat luchtbellen uit de isolatie zijn verdreven.

Bij het vaststellen van de vereischte dikte der isolatielagen moet men niet uitsluitend rekening houden met de aangelegde spanningsverschillen, maar dient ook de aard van het oppervlak der geleiders een belangrijke rol te spelen. Oneffenheden, scherpe hoeken en kanten aan een te isoleeren stuk metaal, kunnen in hun omgeving nl. buitengewoon hooge veldsterkten veroorzaken. Een eenvoudig voorbeeld van een oneffenheid is het geval van een half bolletje, dat zich bevindt op één van twee evenwijdige vlakken en een straal heeft, die klein is ten opzichte van de onderlinge afstand dezer vlakken. Een dergelijk bolletje verhoogt de veldsterkte plaatselijk tot ongeveer het drievoudige van de veldsterkte, die zonder deze oneffenheid tusschen de twee evenwijdige platen zou heerschen. Er is daarom bij het construeeren der toestellen voor glad verloopende oppervlakken der geleiders gezorgd.

Heeft men niet met al te hooge spanningen te maken, dan doet men goed de anode van de röntgenbuis te aarden, waarbij de kathode door middel van een hoogspanningskabel wordt gevoed. Het focus ligt aan het geaarde anode-uiteinde van de

[5]) Vgl. de uitgebreidere behandeling van dit probleem in het artikel „Drukcondensatoren", Philips techn. T. 4, 266, 1939.

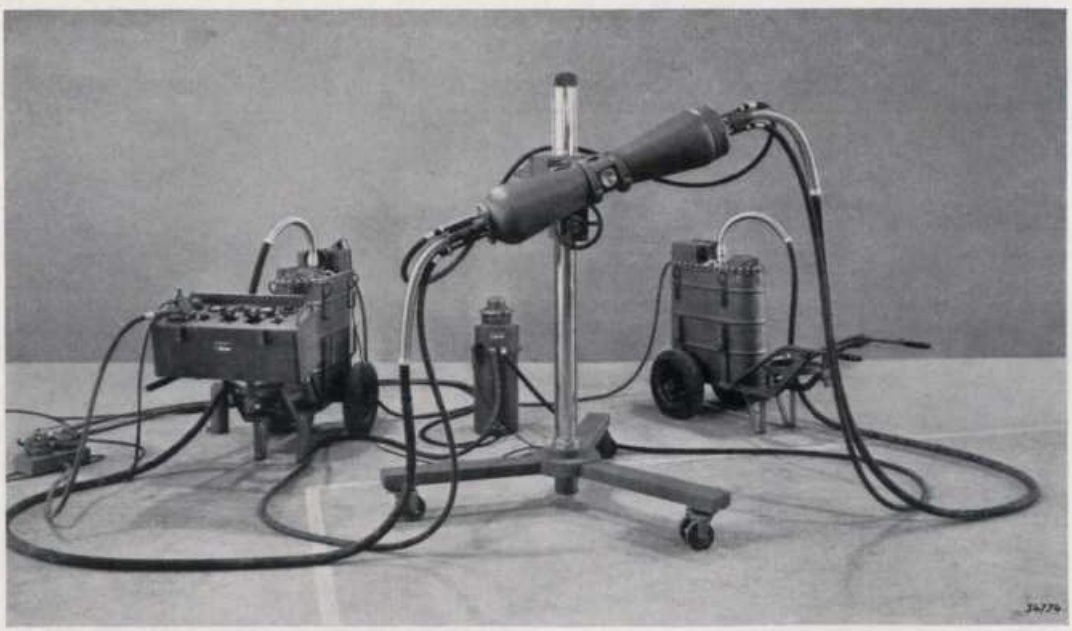


Fig. 5. Het röntgentoestel M 300 met symmetrische röntgenbuis, die door twee hoogspanningskabels wordt gevoed. Het is geschikt voor een maximale spanning van 300 kV. De generator is een symmetrisch samenstel van twee generatoren van het type M 150.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

buis, zoodat men hiermee betrekkelijk gemakkelijk in niet te groote ruimten kan komen. Ook als men bijv. de röntgenbuis langs het hechtingsvlak van twee onder een hoek aan elkaar gelaschte platen moet laten strijken teneinde hechtingsfouten op te zoeken, kan men dit gemakkelijk doen met een buis, die het focus aan een uiteinde draagt. Een verder voordeel van de geaarde anode is, dat men de in het focus ontwikkelde warmte, die bij deze toestellen ongeveer 2 kW bedraagt, gemakkelijk kan afvoeren door koelwater, dat onmiddellijk uit de waterleiding wordt betrokken.

Een uitvoering van een dergelijke buis met geaarde anode is in fig. 1 weergegeven; zij kan worden gebruikt tot 150 kV. Het toestel is volgens fig. 2 geschakeld. Zooals reeds werd opgemerkt, kan men het echter door een hulptoestel completeeren tot een geheel, dat geschakeld is volgens fig. 3.

Bij het construeeren van dergelijke verplaatsbare toestellen wordt het moeilijk hoogere spanningen dan 150 kV ten opzichte van de aarde te isoleeren. Voor dergelijke gevallen hebben wij daarom een symmetrische constructie toegepast, zooals in *fig.* 5 is weergegeven voor een maximale buisspanning van 300 kV. Het focus ligt hierbij in het midden van de buis; kathode en anode krijgen beide door middel van een hoogspanningskabel tegengestelde spanningen van 150 kV ten opzichte van aarde. Daar het focus nu niet geaard is, geschiedt het koelen van de anode door middel van isolatie-olie, die door de anode en een koeler circuleert.

Aangezien de spanningen van kathode en anode bij een symmetrische buis tegengesteld gelijk zijn ten opzichte van de aarde, geschiedt de electrische voeding door twee volgens fig. 2 geschakelde toestellen, waarvan één aan de kathode wordt verbonden, terwijl het andere, waarin het ventiel omgekeerd is geschakeld, de tegengestelde spanning aan de anode levert. Teneinde deze toestellen zoowel elk afzonderlijk te kunnen gebruiken in combinatie met een röntgenbuis voor 150 kV, als ook gezamenlijk met een buis voor 300 kV, is de ventielruimte voor den gebruiker toegankelijk gemaakt zoodat hij het betreffende ventiel zelf kan omschakelen.

Het focus

Trachten wij de belichtingstijd te verkorten door hoogere spanningen te gebruiken, zooals in het voorafgaande werd uiteengezet, dan krijgen wij te maken met hardere röntgenstralen. Zooals reeds vroeger in dit tijdschrift [6]) werd besproken, heeft dit het bezwaar, dat de röntgenfoto's minder sterke contrasten zullen vertoonen, dan wanneer zij met zachtere röntgenstralen worden vervaardigd. Behalve van het verhoogen der buisspanning, zal men dus ook graag gebruik willen maken van andere mogelijkheden om de opgewekte röntgenintensiteit te verhoogen, zooals bijv. het toepassen van een groote gemiddelde buisstroom.

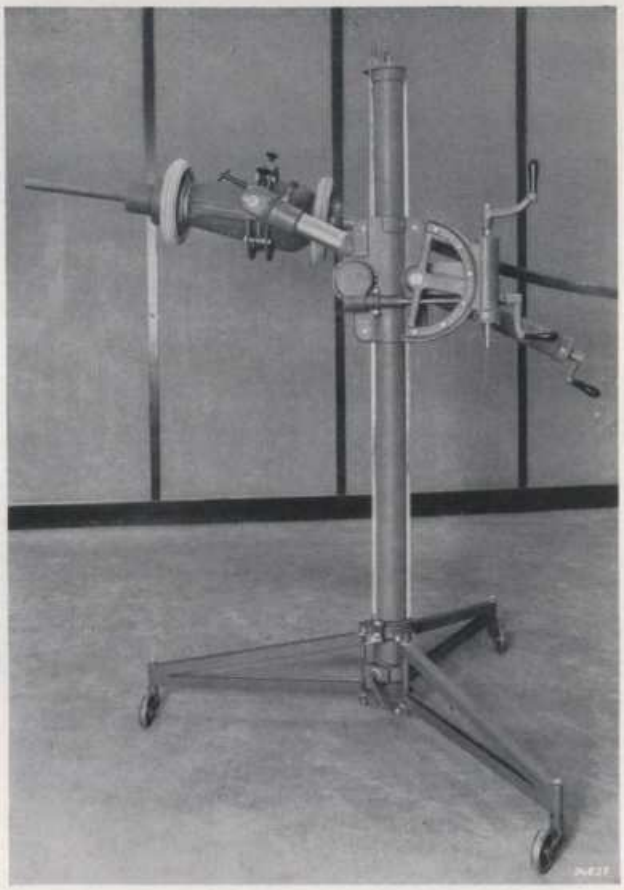


Fig. 6. Röntgenbuis met geaarde staafvormige anode, geschikt voor een maximale spanning van 150 kV. Het focus ligt aan het einde van het lange uitsteeksel.

Een groote stroom kan men verkrijgen door zoowel te zorgen voor een groote stroomdichtheid als voor een groote stroomdoorsnede. Het eerste beteekent een groote specifieke belasting van het focus, waarmee men echter niet te ver mag gaan. Anders kan nl. de warmte, die aan de anode wordt geproduceerd, niet voldoende worden afgevoerd. Hierdoor zou de temperatuur der anode zoo hoog kunnen oploopen, dat deze ruw wordt door verdamping, waardoor tijdens het gebruik het rendement van de buis te snel zou achteruitgaan. In een vroeger artikel werd afgeleid [7]), hoe men een zoo hoog mogelijke specifieke belasting van het focus kan verkrijgen.

[6]) Vgl.: fig. 6 in Philips techn. T. **2**, 315, 1937.

[7]) Vgl.: Philips techn. T. **3**, 263, 1938.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

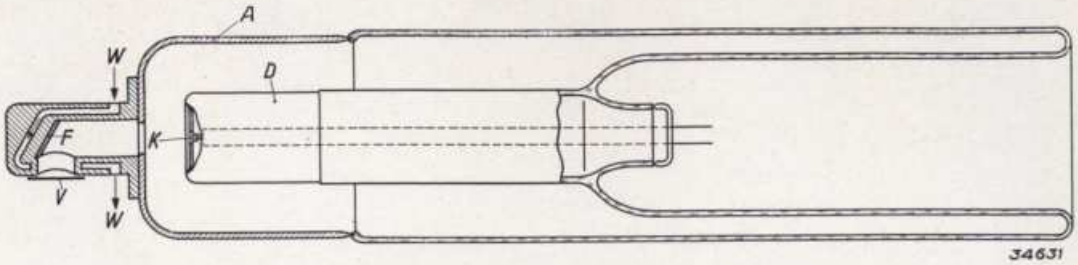


Fig. 7. Schematische doorsnede van de röntgenbuis, die behoort bij het toestel M 150, dat in fig. 1 werd afgebeeld. De anode A is geaard en wordt gekoeld door water. F focus, K kathode, D kathodedop, V venster en W koelwater.

De tweede wijze, waarop men de buisstroom kan vergrooten, is het vergrooten van het focus. Hierin is men echter eveneens beperkt, daar de onscherpte van het schaduwbeeld der röntgenstralen evenredig is met de afmetingen van het focus. Wordt deze onscherpte niet grooter dan de afmetingen der fouten, die men nog juist in de constructie wil kunnen aantoonen, dan is zij niet hinderlijk. Afhankelijk van de aard van hetgeen men wil onderzoeken, bestaat er dus een daarbij passende gunstigste afmeting van het focus, waarbij dan ook weer een bepaalde buisstroom behoort.

Voor vele toepassingen van de buis van fig. 1 is het gunstig een stralenbron te gebruiken van ongeveer 5 mm in het vierkant, waarbij dan een belasting mogelijk is van 20 mA bij 150 kV in een schakeling volgens fig. 2. Is het noodig met het focus in kleine ruimten te komen, zooals bijv. het geval is bij het onderzoek van lasschen in stoomketels en -pijpen, dan kan de in *fig. 6* afgebeelde buis goede diensten bewijzen. Hierbij bevindt de anode zich aan het uiteinde van een staafvormig uitsteeksel, waarmee men gemakkelijk in kleine ruimten kan binnengaan. Wegens de bij deze werkwijze optredende kleine afstanden tusschen focus en voorwerp, is het noodig de afmetingen van het focus niet te groot te kiezen. Bij de buis van fig. 6 heeft men dan ook een rond focus van 2 à 3 mm aangebracht.

De gewenschte afmetingen van het focus verkrijgt men in het algemeen door rondom de kathode een dop van bepaalde vorm aan te brengen, zooals is te zien op de in *fig. 7* weergegeven schematische teekening van de buis van fig. 1. De dop D heeft een zoodanige vorm, dat de door de kathode K uitgezonden electronen in een bundel worden gericht naar de anode A. Afhankelijk van de vorm van de dop ontstaat dan op de anode een grootere of kleinere electronenoptische afbeelding der kathode. Zooals wij in fig. 7 zien, is dit focus F, dat de röntgenstralen uitzendt, aangebracht in een kort uitsteeksel van de chroomijzeren anodekan A, waaraan het glas is gesmolten, dat als isolatie dient tusschen anode en kathode. Bij de tuitbuis, die in fig. 6 werd afgebeeld, ligt echter het focus te ver verwijderd van de kathode om met een kathodedop D te kunnen volstaan voor het vormen van een bundel electronen, die behoorlijk bijeen blijft. Men moet de bundel dan doen convergeeren met behulp van een magneetveld [8]), waartoe om de anodebuis een magneetspoel is aangebracht.

[8]) Vgl.: Philips techn. T. 4, 161, 1939. Bij de daar behandelde buis voor 1 MV werd een permanente magneet voor het focusseeren gebruikt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

OVER HET TRANSPORT VAN GELUIDSFILM IN OPNAME- EN WEERGAVEMACHINES

door J. J. C. HARDENBERG. 778.533.1 : 681.84.081

Teneinde bij de weergave van geluidsfilm geen hinderlijke vervorming te doen ontstaan, moet de filmband zeer gelijkmatig langs de plaats van opname en van aftasting van de geluidstrook worden bewogen. Bij de combinatie van een beeld met een geluidstrook is in de eerste plaats, om een stilstaand beeld te verkrijgen, het aantal beelden per omwenteling van de aandrijvende as voorgeschreven en is derhalve de filmsnelheid, in verband met het krimpen van het filmmateriaal, aan variaties onderhevig. De moeilijkheden, die hieruit voortvloeien voor het filmtransport, worden in dit artikel besproken, alsmede eenige methoden en constructies, waarmee het probleem in de moderne machines voor opname en weergave van geluidsfilm wordt opgelost. Bij het Philips-Miller-systeem voor geluidsregistratie worden eensdeels nog zwaardere eischen aan de inrichting voor het filmtransport gesteld, anderdeels komt hier voor sommige belangrijke toepassingen de eisch van synchronisme met een beeldstrook te vervallen, waardoor de constructie aanzienlijk vereenvoudigd wordt.

Geluid registreeren beteekent, de tijdelijke variaties van de geluidsdruk omzetten in plaatselijke variaties van een of andere physische grootheid, bijv. de intensiteit of de breedte van een zwarting op een filmband. Bij de weergave worden door het doen afloopen van de band de verschillen in plaats weer in verschillen in tijd omgezet. Om nu een volmaakte gelijkenis tusschen de weergegeven en de opgenomen geluidstrillingen te waarborgen, moet klaarblijkelijk het verband tusschen „tijd" en „plaats op de filmband" bij de opname en bij de weergave nauwkeurig hetzelfde zijn. In de practijk van de geluidsfilm komt dit hierop neer, dat hooge eischen gesteld moeten worden aan de gelijkmatigheid, waarmede de filmband in de machines voor opname en voor weergave wordt voortbewogen, en aan de standvastigheid (trillingsvrijheid) van de plaats, waar het opteekenen resp. het aftasten van het geluidspoor geschiedt. Iedere tekortkoming in dit opzicht komt tot uiting als een ongewenschte modulatie en zal zich derhalve in min of meer hoorbare mate wreken in de kwaliteit van het gereproduceerde geluid.

Bij het verwezenlijken van de genoemde eischen treden bepaalde moeilijkheden op, die in dit artikel nader zullen worden besproken. Tevens zullen enkele oplossingen worden beschreven, die voor dit centrale probleem der geluidsfilmapparaten zijn aangegeven, en met name de constructie, die hiervoor in de machines voor geluidsopname volgens het Philips-Miller-systeem wordt toegepast.

De getande rol

De geluidsfilm heeft zich oorspronkelijk ontwikkeld als aanvulling van de beeldfilm, en dit is ook nu nog zijn belangrijkste toepassingsgebied. Nu geschiedt het transport van beeldfilm door het opname- of weergavetoestel steeds door middel van getande rollen, die in de perforatiegaten aan weerskanten van de beeldjes ingrijpen. Deze wijze van voortbewegen maakt het mogelijk om de film, door middel van het malteezerkruis, sprongsgewijze langs het projectievenster te trekken — we bepalen ons voorloopig tot de weergave — en zoodoende den toeschouwer de indruk van een stilstaand beeld te geven. Er bestaat ook wel de mogelijkheid om de film, dank zij een zg. optische compensatie, gelijkmatig langs het filmvenster te trekken. Toch heeft men aan de getande rol vastgehouden. De voornaamste reden hiervoor ligt in het krimpen van de filmband, dat als gevolg van het uitdrogen van de film, vooral door de sterke bestraling bij de projectie, steeds in meerdere of mindere mate optreedt. De verkorting door het krimpen kan bijv. 0,5%, in extreme gevallen tot 1% bedragen. Ongeacht deze lengteverandering wordt nu geëischt, dat bij het verspringen van de beeldjes de film telkens precies met één beeldhoogte opschuift. Geschiedt het verspringen een bepaald aantal malen per omwenteling van de as, die met bepaalde snelheid het malteezerkruis aandrijft, dan beantwoordt hieraan tengevolge van de krimp niet steeds hetzelfde aantal meters film per seconde — wèl echter steeds hetzelfde aantal perforatiegaten per seconde. De getande rol heeft nu de taak, dit aantal getransporteerde perforatiegaten vast te leggen en zoodoende een waarborg te geven voor exact beeldtransport. Zijn door de krimp verschillen in de afstand der perforatiegaten ontstaan, dan worden deze telkenmale gecorrigeerd, wanneer een tand in de perforatie grijpt. In *fig. 1* is de wijze, waarop deze correctie zich afspeelt, nog nader toegelicht. Men ziet, dat de film bij elk perforatiegat een lichte schok krijgt. Aangezien de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

film normaal met een snelheid van ongeveer 24 beeldjes per seconde wordt afgedraaid en de beeldhoogte gelijk is aan 4 perforatieafstanden, krijgt de film dus ca. 96 schokken per seconde.

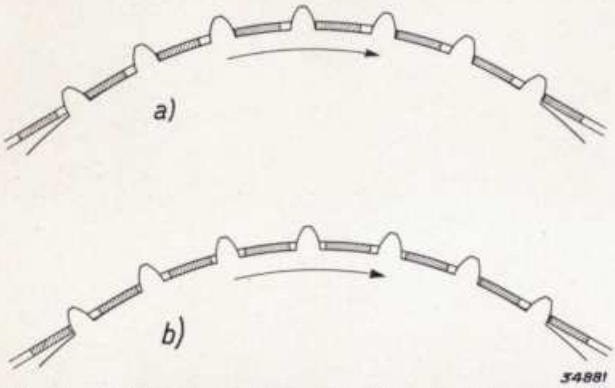


Fig. 1. a) Klopt de steek van de filmperforatie precies met de tandsteek van de getande rol, dan rust de film tegen de flanken van alle gelijktijdig ingrijpende (bijv. 10) tanden, en de voortstuwing van de film wordt continu door de nieuw ingrijpende tanden overgenomen.
b) Is de film iets gekrompen, dan wordt hij, wanneer we van de wrijving op het roloppervlak afzien, alleen door de flank van de voorste tand voortgeduwd, terwijl de overige ingrijpende tanden vrij in de perforatiegaten staan (deze geven aan de tanden ca. $^1/_2$ mm speling). Op het oogenblik, waarop de voorste tand uit het perforatiegat glijdt, is de filmstuwing nog niet door de volgende tand overgenomen, de film vermindert daardoor even zijn snelheid ten opzichte van de rol, totdat — met een zekere schok — de volgende tand tegen de rand van het perforatiegat aan loopt, waar hij eerst vrij in stond. Bij elke tand herhaalt zich hetzelfde.

Op de voor de weergave bestemde film is nu naast het beeld de geluidstrook aangebracht (*fig. 2*). Na het passeeren van het projectievenster moet de film langs de plaats van geluidsaftasting worden

Fig. 2. Beeldstrook, met ernaast aangebrachte geluidstrook (geregistreerd met amplitude-modulatie). De hoogte van een beeld is gelijk aan vier perforatie-afstanden.

getrokken; om hier steeds dezelfde filmlengten te verwerken als voor het projectievenster, ligt het voor de hand weer een getande rol te gebruiken, die de film met dezelfde snelheid transporteert als de eerste. Is de film nu min of meer gekrompen, dan worden de 96 discontinuïteiten per seconde, welke in het filmtransport optreden door de corrigeerende werking der getande rol, als zg. perforatiemodulatie in de geluidsweergave merkbaar. In de beginperiode van de geluidsfilm was dit inderdaad een der voornaamste fouten.

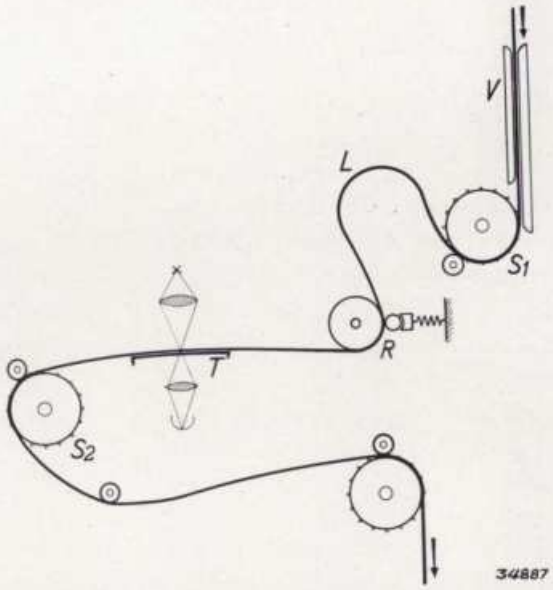


Fig. 3. Nadat de filmband door de getande rol S_1, die op de as van het malteezerkruis zit, sprongsgewijze langs het projectievenster V is getrokken, wordt hij door de rollen R afgeremd (de slappe lus L kan ongehinderd periodiek van lengte veranderen met het verspringen der beelden). De getande rol S_2 trekt dan de gespannen film over de vaste baan T, waar het geluid wordt afgetast. Tusschen V en T ligt normaal een filmlengte overeenkomende met ca. 19 beelden. Dienovereenkomstig zijn beeld en bijbehoorend geluid op de band ten opzichte van elkaar verschoven.

De film werd toen door de genoemde getande rol (S_2 in *fig. 3*) over een vaste baan getrokken, waar het geluid werd afgetast, en daarbij tevens door remrollen (R) geremd om een goed aanliggen van de film tegen de vaste baan te waarborgen. Tengevolge van de spanning van de film tusschen de baan en de trekkende getande rol worden alle tandschokken naar de plaats van de aftasting doorgegeven. Vooral de weergave der frequenties tusschen 2000 en 6000 per/sec wordt door de perforatiemodulatie schadelijk beïnvloed, daar hier de optredende combinatietonen de indruk van een hinderlijke schorheid wekken.

Men heeft hiervoor een remedie trachten te vinden door de tandschokken te dempen; bijv. heeft men een elastische koppeling aangebracht tusschen de getande rol en de as, waardoor deze wordt aange-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

dreven; of men heeft een aantal elastisch gespannen lussen in de film gelegd door een reeks geleidrollen tusschen de getande rol en de plaats van aftasting. Men komt zoo tot vrij ingewikkelde constructies, en een afdoende verbetering wordt hierbij niet bereikt.

De geluidsas

Een belangrijke vooruitgang werd verkregen door het inzicht, dat het voor het geluid feitelijk niet noodig is, de variatie in beeldhoogte onmiddellijk, dwz. bij elk perforatiegat te corrigeeren. Er moet slechts aan de eisch worden voldaan, dat de filmlengte, welke de plaats van geluidsaftasting passeert, gemiddeld over enkele seconden steeds gelijk blijft aan de lengte van de filmstrook, die langs het projectievenster wordt getrokken, daar anders óf een breuk óf een opstopping van de filmband zou optreden. Ter plaatse van de geluidsaftasting kan men dan de film een eenparige snelheid geven, die zich alleen in de loop van enkele seconden, dus met onhoorbare „modulatiefrequentie", aan de gemiddelde filmlengte per beeld moet kunnen aanpassen [1]).

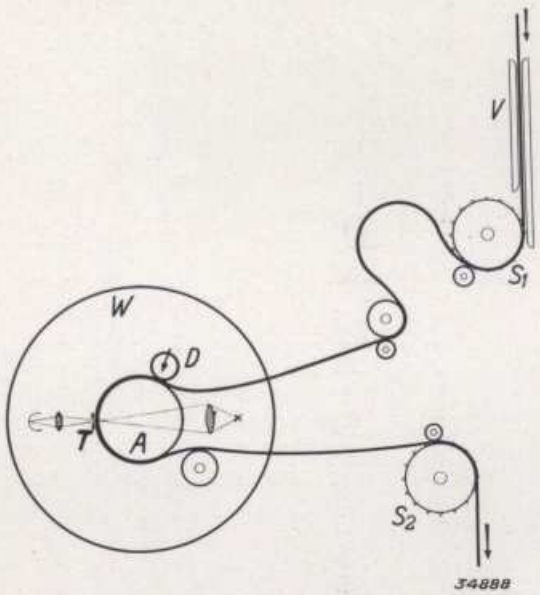


Fig. 4. De filmband wordt over een groote omtrekshoek om de geluidsas *A* gelegd, die door de werking van het vliegwiel *W* zeer gelijkmatig roteert. De drukrol *D*, of eventueel een reminrichting, zorgt voor de noodige wrijving, om slip tusschen de geluidsas en de band te voorkomen. Overige letters als in fig. 3.

Deze gedachte wordt nu als volgt verwezenlijkt. Op of zeer nabij de plaats van geluidsaftasting wordt de film over een zoo groot mogelijke omtrekshoek gelegd om een gladde trommel (*fig. 4*), die op een zeer gelijkmatig draaiende as, de „geluidsas" (ook „toonas" genoemd), is gemonteerd. De gelijkmatige snelheid van de as wordt gewaarborgd door een vliegwiel. Een reminrichting of een drukrol aan de zijde, waar de film op de trommel oploopt, zorgt voor een groote omtrekswrijving, zoodat de film zonder slip met de omtrek van de trommel is gekoppeld en op deze plaats de gewenschte gelijkmatige snelheid heeft. Vanzelfsprekend moet de geluidsas nauwkeurig centrisch loopen om een constante omtreksnelheid te verkrijgen. Een excentriciteit van de trommel van 0,02 mm zou reeds duidelijk in het geluid te hooren zijn.

Zooals uit het bovenstaande volgt, mag men de geluidsas geen bepaald gedwongen toerental geven, maar moet dit toerental zich doorloopend kunnen aanpassen bij de afloopende filmlengte. Dit kan op twee manieren geschieden:

a) Men kan een regelbare mechanische aandrijving toepassen. Treedt een verandering van de beeldhoogte op, dan gaan de wegen, die de film op een, synchroon met de filmbeeldjes loopende, getande rol resp. op de geluidsas aflegt, een verschil vertoonen, waarvan men gebruik maakt om op een of andere wijze de aandrijfsnelheid van de geluidsas dusdanig te beïnvloeden, dat het verschil weer verdwijnt.

b) De meest moderne oplossing bestaat daarin, de geluidsas door de film zelf te doen aandrijven. De film wordt aan de geluidsas toe- en van haar afgevoerd door synchroon met de beelden loopende getande rollen. Hierdoor wordt dus de afloopende filmlengte doorloopend geregeld. De werking van het vrij meeloopende vliegwiel zorgt ervoor, dat variaties van de filmlengte per seconde slechts geleidelijke variaties van de filmsnelheid op de geluidsas veroorzaken. Hierbij is echter vereischt, dat de koppeling tusschen de vliegwielbeweging en de beweging der getande rol, die de film trekt, zoo los mogelijk is, dwz. dat de filmstrook tusschen getande rol en geluidsas zoo weinig mogelijk gespannen is. Van de bovengenoemde twee mogelijkheden voor het verkrijgen van de noodige omtrekswrijving tusschen de geluidsas en de film, nl. een drukrol of een reminrichting, verdient derhalve de eerste de voorkeur, daar zij geen extra filmspanning met zich meebrengt. In de nieuwe Philips „geluidskop", type 3837, (*fig. 5*) is dan ook deze methode toegepast. De filmspanning wordt nu vrijwel alleen bepaald door de trekkracht, die de film moet uitoefenen om de wrijvingsweerstanden te overwinnen, welke optreden in de lagers van de geluidsas, de geleidrollen en de

[1]) Deze gemiddelde waarde varieert practisch ook bij zeer ongelijkmatige krimp van de filmband zoo geleidelijk, dat geen afwijkingen van het synchronisme tusschen beeld en geluid merkbaar worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

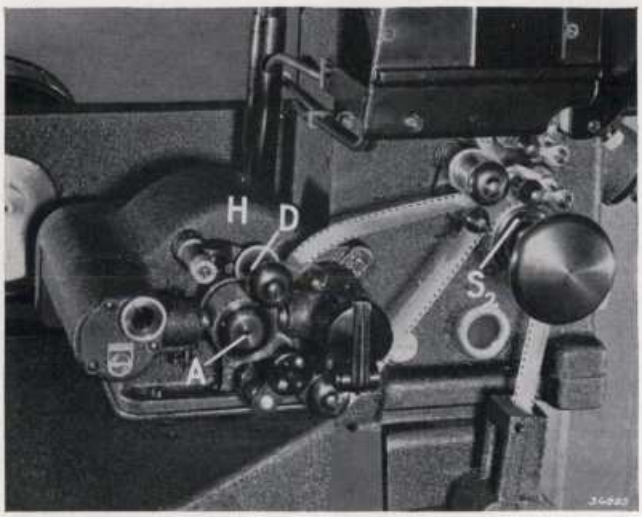


Fig. 5. Philips „geluidskop", type 3837, gemonteerd achter de projector FP 5. *A* is de geluidsas; in het huis *H* loopt het vliegwiel. *D* de drukrol, S_2 de getande rol, die de band door de „geluidskop" trekt.

drukrol. Door toepassing van kogellagers is het bij het genoemde toestel gelukt, de wrijvingskrachten en daarmee de trek van de film tijdens de weergave tot enkele tientallen grammen te reduceeren.

Bij het begin van de weergave, waarbij de geluidsas door de film op gang moet worden gebracht, moet de film steeds een grootere trekkracht uitoefenen. Hierbij treedt gedurende enkele seconden slippen op, hetzij tusschen geluidsas en film, hetzij tusschen geluidsas en vliegwiel, indien dit laatste via een frictiekoppeling door de geluidsas wordt meegenomen. De tijd, waarna de bedrijfstoestand kan worden bereikt, hangt af van de kracht, die de film kan overbrengen zonder gevaar voor breuk, en van de energie, die men in het vliegwiel wil accumuleeren, dus van het traagheidsmoment hiervan.

Opname volgens het Philips-Miller-systeem

Bij de opname van geluidsfilm kan men dezelfde constructies voor het filmtransport toepassen, als hierboven voor de weergave werden beschreven [2]). In het algemeen is het hier zelfs veel gemakkelijker om de perforatiemodulatie uit het geluid te weren, daar men bij de opname met versche film te maken heeft, waarbij de perforatieafstanden nog betrekkelijk weinig door krimpen gewijzigd zijn en dus tandschokken bij het transport in veel mindere mate optreden.

[2]) De geluidstrook wordt meestal afzonderlijk opgenomen en daarna tezamen met de beeldfilm op het positief gecopieerd. Dit doet echter wegens de eisch van synchronisme tusschen beeld en geluid niets af aan het voorschrift, dat niet de filmlengte maar het aantal perforatie-afstanden per seconde vastgelegd is.

Bij de geluidsopname volgens het Philips-Millersysteem echter treedt in het filmtransport nog een specifieke moeilijkheid op door de onvermijdelijke sterke spanning van de filmband. Om dit toe te lichten, zij hier kort aan het principe van het Philips-Miller-systeem herinnerd [3]). De „Philimil"-band, waarop het geluidspoor wordt geschreven, bestaat uit een gelatinelaag, die op een celluloiddrager is aangebracht en die bedekt is met een zeer dunne zwarte deklaag (*fig. 6*). Een wigvormige beitel wordt loodrecht op de voortbewogen band in het rhythme der geluidstrillingen op en neer bewogen en snijdt hierbij een groef van wisselende breedte in de gelatinelaag. Door het wegvallen van de dunne deklaag langs de ingesneden groef ontstaat een doorzichtig geluidspoor op zwarte achtergrond, dat voor de weergave op dezelfde wijze kan worden afgetast als een fotografisch opgenomen (amplitude-gemoduleerd) geluidspoor.

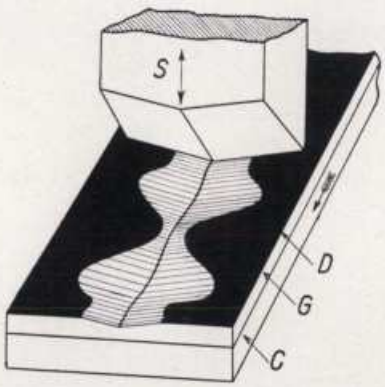


Fig. 6. Principe van de geluidsregistratie volgens het Philips-Miller-systeem. De „Philimil"-band bestaat uit de celluloiddrager *C* met de gelatinelaag *G* en de zeer dunne ondoorzichtige deklaag *D*. De loodrecht op de band trillende beitel *S* snijdt in de band, die in de pijlrichting wordt voortbewogen, een doorzichtig geluidspoor.

De weerstand, die de beitel bij het snijden van de groef in de band ondervindt, hangt van de groefbreedte af en bedraagt gemiddeld ongeveer 1 kg. Dit is dus ook de kracht, waarmede de band door de machine moet worden getrokken. Het is duidelijk, dat men wel zeer beducht zou moeten zijn voor perforatie-modulatie, wanneer men de reactie voor deze kracht op tandflanken zou trachten te vinden. Bij de ontwikkeling der Philips-Miller-machines werd dan ook al spoedig overgegaan tot het hierboven beschreven constructieprincipe, waarbij de bandsnelheid ter plaatse van de registratie bepaald is door de omwenteling van een geluidsas. Uit de

[3]) Zie ook de artikelen: Philips techn. T. **1**, 107, 135, 211, 230, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

groote filmspanning volgt verder, dat voor het waarborgen van het synchronisme (met een beeld- of een andere geluidsopname) niet de aandrijving van de geluidsas door de film zelf (methode *b*) kan worden toegepast, die als verkieselijkste oplossing werd gekenschetst, maar dat hiervoor alleen een regelbare mechanische aandrijving (methode *a*) in aanmerking komt.

Wegens het overbodig zijn van elk fotografisch procédé in de bewerking van de „Philimil"-band is het Philips-Miller-systeem zeer geschikt om ook buiten het verband van de beeldfilm als methode van geluidsregistratie te worden gebruikt. Met name heeft het systeem een belangrijke toepassing gevonden voor geluidsopname in radio-omroepstudio's. In dit geval wordt het probleem van het filmtransport aanzienlijk vereenvoudigd door het wegvallen van de eisch van synchronisme met een bepaald beeldrhythme. Bij de hierboven geschetste constructie komt dus het toe- en afvoeren van de band door getande rollen en de regelbare mechanische aandrijving te vervallen, zelfs behoeft de band nu heelemaal geen perforatie meer te bevatten. Aan de andere kant brengt het systeem ook nieuwe eischen voor het filmtransport mee en opent het nieuwe mogelijkheden, die we hier nog iets nader willen beschouwen.

Loop van de band en aandrijving van de geluidsas

Ter orienteering is in *fig. 7* een overzicht van een Philips-Miller opname-apparatuur weergegeven, zooals die voor omroepstudio's wordt gebouwd. *Fig. 8* laat de geluidsas en de baan voor de geluidsaftasting (dezelfde apparatuur dient tevens voor de weergave) op grootere schaal zien. De zeer eenvoudige loop van de band springt direct in het oog. Afgezien van de S-vormige lus, die noodig is om de band over de vereischte groote hoek om de op de geluidsas bevestigde „snijrol" te leggen, loopt de band nagenoeg geheel vrij van de afwikkelspoel naar de opwikkelspoel. Het snijden van het geluidspoor vindt plaats daar, waar de band op de snijrol oploopt (*s* in fig. 8); de drukrol, die voor de noodige omtrekswrijving tusschen band en snijrol zorgt, is aange-

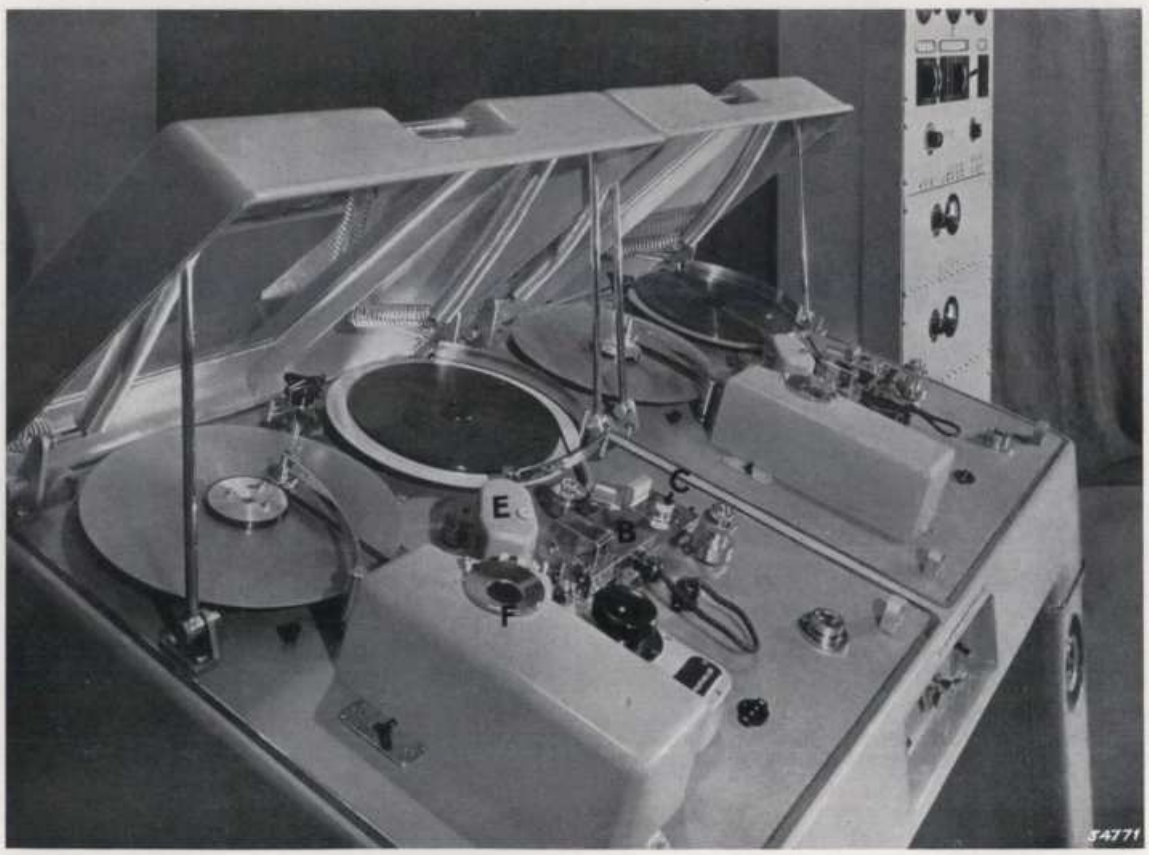


Fig. 7. Machine voor geluidsopname volgens het Philips-Miller-systeem. De machine, die speciaal voor omroepdoeleinden is gebouwd, bestaat uit twee geheel gelijke helften, waarvan elk voor opname en weergave beide is ingericht. Op de dekplaat van elke helft ziet men links de opwikkelspoel, rechts de afwikkelspoel. In het midden de geluidschrijver *B*, die door de micrometerschroef *C* ten opzichte van de filmband kan worden verschoven om de snijdiepte van de beitel in te stellen. In *E* en *F* zijn de lamp en de fotocel voor de aftasting van het geluidspoor ondergebracht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Fig. 8. De geluidsas van de in fig. 7 weergegeven machine. De schrijver wordt op de as *G* gezet. Hij is hier verwijderd om de loop van de band beter te laten zien. Door de vaste rol *I* wordt de band in een lus gelegd, die noodig is om de band over een groote omtrekshoek om de geluidsas *A* te leggen. Bij *s* wordt het geluidspoor gesneden; door de buis *K* wordt de uitgesneden spaan weggezogen. *D* is de drukrol, *M* de rubberduim, die de band desgewenscht stopzet. *D* en *M* worden gelijktijdig door de knop *N* in de gewenschte stand gebracht. *T* is de vaste baan voor de geluidsaftasting, bij *O* ziet men het objectiefgedeelte van het bijbehoorende optische systeem.

bracht op de plaats, waar de band van de rol afloopt. In tegenstelling met de hierboven beschreven constructies voor bioscoopfilm, kan nu de geluidsas

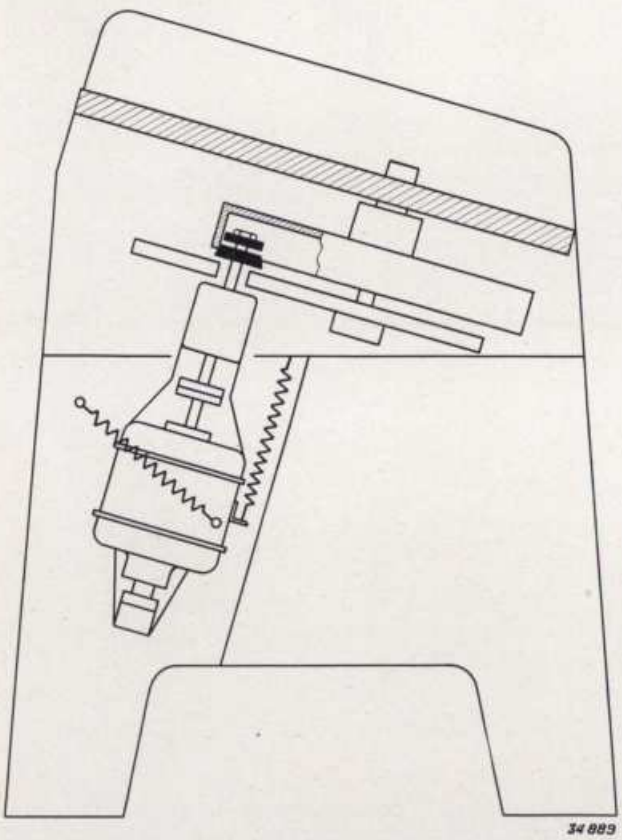


Fig. 9. Aandrijving van de geluidsas. Een frictierol op de as van de, geheel door veeren gebalanceerde, motor wordt tegen de binnenzijde van de velg van het vliegwiel gedrukt, dat op de geluidsas is gemonteerd.

met een vast toerental worden aangedreven. Daarbij is het natuurlijk noodig, dat er geen trillingen van de aandrijvende motor op de geluidsas kunnen worden overgebracht. De practische uitvoering is in *fig. 9* weergegeven. Op de motoras is een looprol gemonteerd, die met zacht, dus goed dempend, rubber is bekleed en die tegen het gladbewerkte binnenoppervlak van de velg van het vliegwiel drukt, dat op de geluidsas is bevestigd. Het motorgewicht is door spiraalveeren gebalanceerd, die beletten, dat motortrillingen via het huis op de dekplaat van de machine worden overgebracht en die tevens de noodige druk tusschen looprol en vliegwiel leveren.

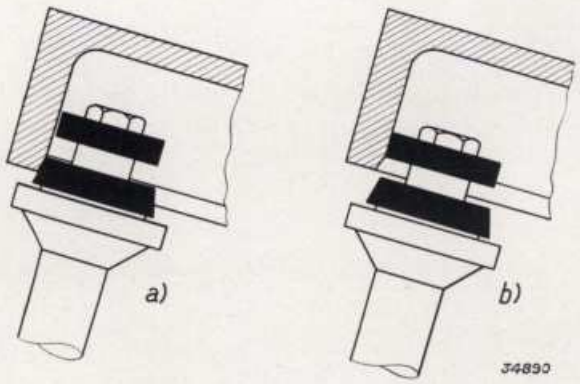


Fig. 10. a) Bij het starten wordt het vliegwiel door de conische, met hard rubber bekleede startrol versneld.
b) Is het vliegwiel op gang gebracht, dan laat men de motor iets zakken en het vliegwiel wordt nu door de met zacht rubber bekleede looprol aangedreven.

Bij het starten van de machine treedt een grootere wrijving tusschen aandrijvende rubberrol en vliegwiel op dan in de bedrijfstoestand. Om een overmatige slijtage van de zachte looprol te vermijden, wordt het starten door een met harder rubber bekleede „startrol" bewerkstelligd. Deze conische rol drukt in de ruststand van de machine tegen de rand van het vliegwiel, zie *fig. 10a*. Is het vliegwiel op gang gebracht, dan laat men de heele motor een weinig zakken, zoodat de looprol in functie komt (fig. 10*b*).

Overigens behoeft men de machine niet telkens, wanneer de opname even moet worden onderbroken, stop te zetten en dan opnieuw te starten. De loopende band kan nl. zeer gemakkelijk van de geluidsas ontkoppeld worden, door de drukrol op te lichten. Daarmee verdwijnt de wrijvingskracht tusschen band en geluidsas, de band ligt vrij om de gelijkmatig doordraaiende snijrol; dank zij de zeer geringe massa van de bewegende band en het wegvallen van de perforatie en de getande rol kan de band nu onmiddellijk tot stilstand worden gebracht door middel van een rubberduim, die de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

band tegen de baan voor de geluidsaftasting vastklemt [4]) (zie fig. 8). Omgekeerd wordt door oplichten van de duim en neerdrukken van de aandrukrol de band vrijwel onmiddellijk weer op volle snelheid gebracht. Hierdoor wordt de mogelijkheid geschapen om van de weergave van een band op de ééne machine (fig. 7) zonder onderbreking over te gaan tot de weergave van een tweede band op de ernaast staande machine.

Bij het bespreken van het principe der geluidsas is hierboven reeds de eisch genoemd, dat de geluidsas zeer nauwkeurig centrisch moet loopen ter vermijding van onregelmatigheden in de omtreksnelheid. In de Philips-Miller-opnamemachine worden in dit opzicht nog veel hoogere eischen gesteld, aangezien een excentriciteit van de snijrol hier niet alleen als snelheidsvariatie, maar tengevolge van het principe van de registratie (zie fig. 6) ook rechtstreeks als variatie van de breedte van het geluidspoor merkbaar wordt, en wel in ongeveer 40-voudige vergrooting. De toleranties zijn hier derhalve nog veel kleiner; zij bedragen minder dan 1 micron. Om deze groote nauwkeurigheid te verkrijgen, is de geluidsas uiterst zorgvuldig gelagerd, zie *fig. 11*. Het bovenste lager is conisch uitgevoerd. De stalen taats, waar de as op rust, wordt door een drukveer omhooggedrukt, zoodat de as met een kleine kracht tegen het conische lager aan ligt. Hierdoor blijft de as, onafhankelijk van een eventueele geringe slijtage, steeds zuiver centrisch loopen. De snijrol, die op het uiteinde van de geluidsas wordt bevestigd, wordt in gemonteerde toestand nog zeer nauwkeurig afgedraaid.

Het zware vliegwiel, dat op de geluidsas is gemonteerd, kan voor sommige toepassingen, met name voor transportabele installaties, ongewenscht zijn. Aangezien het alleen aankomt op de energie, die het vliegwiel accumuleert, kan men voor zulke gevallen in plaats van een zwaar vliegwiel op de betrekkelijk langzaam loopende geluidsas ook een lichter vliegwiel nemen, dat men op een snelloopende, met de geluidsas gekoppelde, hulpas monteert. Deze uitvoeringsvorm is bijv. ook gekozen voor de machines, die alleen voor de weergave van „Philimil"-band bestemd zijn.

Snelheid van het filmbandtransport

Terwijl bij de geluidsfilm voor de bioscoop de snelheid van het filmtransport van te voren op ca. 460 mm/sec is vastgelegd door de genormaliseerde beeldfrequentie en beeldhoogte, kan bij de toepassing van het Philips-Miller-systeem voor omroepdoeleinden, dwz. los van elk synchronisme, over de bandsnelheid weer vrij worden beschikt. Het gezichtspunt van een beperking van het materiaalverbruik doet het daarbij gewenscht voorkomen, de snelheid, waarmee de band door de machine wordt getransporteerd, zoo klein mogelijk te maken. Gekozen werd een snelheid van 320 mm/sec. Nog lager kan men met de snelheid niet gaan, zoolang men de weergave der hooge fre-

[4]) De opwikkelspoel, die de band voorttrekt, moet natuurlijk ook blijven staan, de aandrijving van de spoel slipt gedurende de onderbreking.

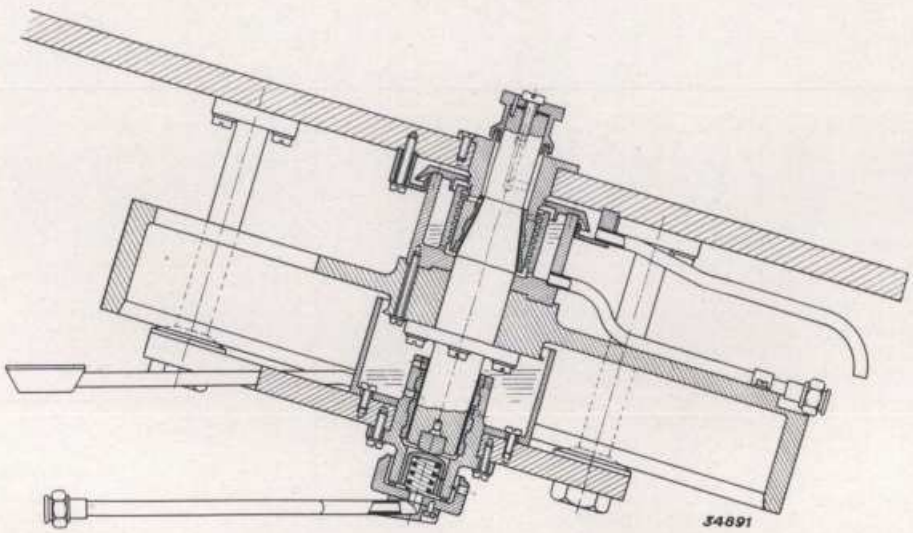


Fig. 11. Lagering en smering van de geluidsas. Door de conische vorm van het bovenste lager, waar de as door een drukveer onder de taats tegen aan wordt gedrukt, blijft de as ook na verloop van tijd nauwkeurig centrisch loopen. De beide lagers van wit metaal zijn omgeven door oliekamers. De kamer voor het bovenste lager is gemonteerd op het vliegwiel en draait dus mee. De olie wordt hierdoor langs een schroefdraad naar boven gepompt en vloeit langs de as weer omlaag. Op deze wijze is ervoor gezorgd, dat het lager, niettegenstaande de schuine stand van de as, steeds tot bovenaan van olie wordt voorzien.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

quenties in het geluid niet wil benadeelen. Hoe kleiner nl. de bandsnelheid, des te kleiner wordt bij gegeven frequentie de golflengte van het in de band gesneden geluidspoor. Om verschillende redenen mag de golflengte niet onder een bepaalde grens dalen:

1) Door de grootte van de hoek tusschen het voorvlak en de rug van de op en neer bewegende beitel wordt een grens gesteld aan de helling, waaronder de beitel in de gelatinelaag kan indringen [5]). Daarmee wordt de verhouding tusschen de maximale amplitude en de golflengte van het te snijden spoor beperkt. Eischt men ook voor de hooge frequenties, waarvoor de golflengten het kortst zijn, nog een bepaalde amplitude, dan wordt daarmee een onderste grens voor de bandsnelheid voorgeschreven.
2) De eindige breedte van de lichtstreep, waarmee de geluidstrook bij de weergave wordt afgetast, veroorzaakt een zeker verlies in modulatiediepte, dat des te aanzienlijker is, hoe breeder de streep is in verhouding tot de golflengte. De kleinste voorkomende golflengte moet derhalve voldoende groot zijn ten opzichte van de streepbreedte. Men kan deze beperking niet omzeilen door de lichtstreep willekeurig smal te maken (in de practijk is hij 12 à 14 micron breed), aangezien dan de verhouding tusschen het storingsniveau en het nuttig signaal te groot wordt: een schaduw-veroorzakend stofdeeltje op de band bijv. gaat dan een te groot percentage beslaan van het heele lichtdoorlatende spleetoppervlak. Om dezelfde reden is ook de in 1) genoemde amplitudevermindering nog eens extra ongewenscht.
3) De snijkant van de beitel bij het registreeren, en de lichtstreep bij het aftasten, staan beiden nooit precies loodrecht op de lengterichting van de band. De beide kleine afwijkingen, die wat betreft hun effect bij elkaar mogen worden opgeteld, veroorzaken een vervorming, welke des te aanmerkelijker zal zijn, naarmate de onvermijdelijke afwijkingen grooter zijn in verhouding tot de kleinste optredende golflengte.

De genoemde drie effecten beginnen pas in noemenswaardige mate hinderlijk te worden bij golflengten kleiner dan 40 micron. Bij de gekozen bandsnelheid van 320 mm/sec beantwoordt hieraan een frequentie van 8000 per/sec.

[5]) Dit is uitvoerig uiteengezet in het artikel van A. Cramwinckel, De beitel voor het registreeren van geluid volgens het Philips-Miller-systeem, Philips techn. T. 1, 211, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

WOLFRAAMBANDLAMPEN VOOR OPTISCHE METINGEN

621.326.3 : 535.24 : 536.52

De gezichtspunten, volgens welke wolfraambandlampen zijn ontworpen als lichtbron voor verschillende optische metingen, worden besproken. Eenige uitvoeringsvormen zijn nader beschreven.

Voor optische metingen van uiteenloopende aard moet men de beschikking hebben over een gelijkmatig stralend oppervlak, waarvan de intensiteit groot en reproduceerbaar is. Bovendien moet in vele gevallen ook de relatieve spectrale energieverdeeling van de straling van dit oppervlak bekend zijn. Dit komt o.a. voor bij de subjectieve en de objectieve fotometrie, bij de pyrometrie, bij de spectrale fotometrie en bij de colorimetrie. Aan de hand van enkele voorbeelden moge dit worden verduidelijkt.

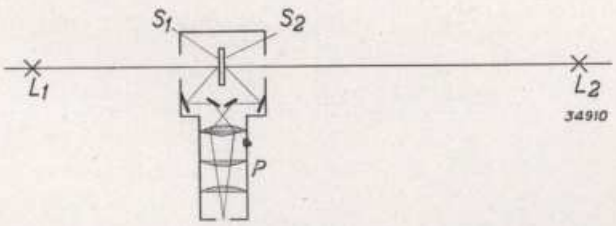


Fig. 1. Opstelling voor subjectieve fotometrie. L_1 en L_2 zijn de te vergelijken lichtbronnen. S_1 en S_2 zijn de vergelijkingsvlakjes van de fotometer P.

In de subjectieve fotometrie (*fig. 1*) komt het dikwijls voor, dat één fotometervlak S_1 verlicht wordt door de te meten lichtbron L_1 en het andere fotometervlak S_2 door een vergelijkingslamp L_2. Men regelt de afstand van L_2 tot S_2 zoo, dat men, door de fotometer P ziend, de beide fotometervlakken met gelijke helderheid waarneemt. Voor de berekening van de lichtsterkteverhouding tusschen L_1 en L_2 wil men de wet van de variatie van de helderheid met het omgekeerde van het kwadraat van de afstand toepassen. Uit deze werkwijze komen de volgende eischen voor de vergelijkingslamp L_2 naar voren:

1) De lichtsterkte moet reproduceerbaar zijn.
2) De lichtsterkte moet zoo groot zijn, dat de vereischte verlichtingssterkte van S_2 verkregen wordt bij een afstand van L_2 tot S_2, die groot genoeg is om gemakkelijk met een nauwkeurigheid van $2\,^0/_{00}$ te kunnen worden gemeten. De onderste grens voor deze afstand kan men bij nauwkeurig werk op 30 cm stellen.
3) De afstand tot alle, bij de meting betrokken oppervlakte-elementen van S_2 moet voor alle punten van het lichtgevend oppervlak zeer nauwkeurig, indien mogelijk binnen $2\,^0/_{00}$ gelijk zijn, opdat men zonder verdere correcties de bovengenoemde wet bij de berekening mag toepassen. Hieraan kan gemakkelijk worden voldaan door een lichtgevend vlakje, dat evenwijdig aan S_2 wordt geplaatst. Wanneer het werkzame oppervlak van S_2 een cirkel met een straal van 10 mm is, moet bij 30 cm afstand van L_2 tot S_2 het lichtend vlakje van L_2 ook vallen binnen een cirkel met straal van 10 mm.

Aan de pyrometrie ontleenen wij een tweede voorbeeld. Bij de veel gebruikte optische pyrometer volgens Holborn en Kurlbaum wordt in het vlak van de pyrometerdraad een beeld ontworpen van het gloeiend lichaam, waarvan de temperatuur moet worden bepaald. Dit beeld en de gloeidraad worden door een rood filter bekeken met behulp van een eenvoudige microscoop of met een loupe. De stroom door de gloeidraad wordt zoo geregeld, dat deze even helder wordt waargenomen als het beeld van het gloeiend lichaam. Bij de ijking van zoo'n pyrometer moet het verband tusschen de stroom door de gloeidraad en de „helderheidstemperatuur" [1]) van het gloeiende lichaam voor de gebruikte „effectieve golflengte" worden vastgelegd.

Eerst wordt daarbij ingesteld op een zwart lichaam, dat op de smelttemperatuur van goud is gebracht. Vervolgens pyrometreert men een vlakje van zeer groote helderheid, dat achtereenvolgens door verschillende bekende verzwakkers wordt waargenomen. In het bijzonder bepaalt men, hoe sterk de verzwakking moet zijn, opdat de helderheid van het vlakje gelijk wordt aan die van het zwarte lichaam bij het smeltpunt van goud. Gebruik makende van de stralingsformule van Planck, kan men dan de helderheidstemperatuur van het lichtgevende vlakje bij de verschillende verzwakkingen berekenen.

Vele gebruikers van een pyrometer zullen voor een dergelijke ijking niet zijn ingericht en toch de behoefte gevoelen, af en toe hun pyrometer te kunnen controleeren. Dit kan dan worden gedaan met behulp van een ijklamp, die een gelijkmatig stralend

[1]) Onder de „helderheidstemperatuur" („zwarte temperatuur") voor een bepaalde golflengte is te verstaan de temperatuur van een zwart lichaam, dat bij die golflengte dezelfde stralingsintensiteit vertoont als het beschouwde lichaam.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

oppervlak levert, dat voldoende groot is om nauwkeurig te kunnen worden gepyrometreerd. Bovendien moet van dit vlakje de helderheidstemperatuur voor de gebruikte effectieve golflengte bekend zijn bij gespecificeerde waarden voor stroomsterkte of spanning van de ijklamp.

Zoowel bij de primaire, als bij deze secundaire pyrometerijking heeft men een gelijkmatig stralend oppervlak noodig van groote en reproduceerbare helderheid.

Een derde voorbeeld komen wij tegen in de spectraalfotometrie. Hier vergelijkt men vaak met behulp van een spectraalapparaat voor kleine golflengtegebieden de helderheid van een onbekende lichtbron met die van een vergelijkingslamp, waarvan de spectrale energieverdeeling bekend is. Al naar gelang van de meetmethode moet de spleet van het spectraalapparaat geheel of voor een bepaald gedeelte door de vergelijkingslamp kunnen worden verlicht. In de practijk doet men dit meestal door het lichtgevend oppervlak van deze lamp op de spleet af te beelden. Hier doet zich dus ook de behoefte gevoelen aan een vergelijkingslamp met een voldoend groot, gelijkmatig stralend oppervlak van groote en reproduceerbare helderheid, waarvan nu bovendien de spectrale energieverdeeling, althans in relatieve maat, bekend moet zijn.

Het is gebleken, dat in de behoefte aan een lamp met zulk een stralend oppervlak kan worden voorzien door de wolfraambandlamp, die dan ook reeds veelvuldig voor dergelijke optische metingen in gebruik is. Het gloeilichaam van deze lampen wordt gevormd door een bandje van wolfraam, ongeveer 20 μ dik, bijv. 2 mm breed en 20 mm lang. Dit bandje wordt door een electrische stroom tot gloeien gebracht.

Een dergelijk dun bandje is voor het hier gestelde doel uitermate geschikt. Door het kleine oppervlak van de doorsnede is de warmtegeleiding klein, zoodat de afgekoelde eindstukken betrekkelijk kort zijn. Dank zij de hooge electrische weerstand per cm lengte kan men met betrekkelijk kleine stroomsterkten reeds hooge temperaturen verkrijgen. Hierbij wordt het geheele oppervlak van het bandje gelijkmatig lichtend gezien in tegenstelling tot dat van een gloeiende draad, waarbij zich aan de rand de afwijkingen van de wet van Lambert hinderlijk doen gevoelen.

Voordat wij de verschillende uitvoeringsvormen der door Philips vervaardigde wolfraambandlampen gaan bespreken, zullen wij eerst de stralingseigenschappen van wolfraam nader bezien.

Lichtemissie van wolfraam

In het algemeen hangt de straling, die door een stof wordt uitgezonden, in sterke mate van de temperatuur af. Daarnaast speelt ook de gesteldheid van het oppervlak een belangrijke rol. Ter preciseering beschouwen wij bij een temperatuur T dat gedeelte van de straling, hetwelk valt binnen een klein golflengtegebied $\Delta\lambda$, gelegen bij de golflengte λ. De energiestroom, behoorende tot het golflengtegebied $\Delta\lambda$, die per eenheid van ruimtehoek wordt uitgezonden door een oppervlakje ΔS onder een hoek Θ met de normaal op dit oppervlakje, kunnen wij voorstellen door $I_{\lambda T\Theta}\,\Delta\lambda\,\Delta S$.

Zooals in een vorig artikel reeds werd behandeld, zijn de stralingseigenschappen het beste bekend voor het zwarte lichaam [2]). De wijze, waarop $I_{\lambda T\Theta}$ van golflengte en temperatuur afhangt, wordt door de stralingsformule van Planck gegeven. Verder voldoet de straling van een zwart lichaam aan de wet van Lambert, volgens welke geldt:

$$I_{\lambda T\Theta} = I_{\lambda T} \cos\Theta \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Voor de straling van andere stoffen blijkt de formule (1) voor niet te groote waarden van Θ bij benadering ook juist te zijn. Nadert echter Θ tot 90°, dan kunnen zeer groote afwijkingen optreden.

De straling van een bepaalde stof bij golflengte λ, temperatuur T en voldoend kleine waarden van Θ wordt nu vaak vergeleken met die van het zwarte lichaam bij dezelfde golflengte en temperatuur. De verhouding van $I_{\lambda T}$ van de beschouwde stof tot $I_{\lambda T}$ van het zwarte lichaam noemt men de spectrale emissiecoëfficient $e_{\lambda T}$. Daar volgens de wet van Kirchhoff de emissiecoëfficient gelijk is aan de absorptiecoëfficient, wordt behalve voor een zwart lichaam $e_{\lambda T}$ steeds kleiner dan 1.

De waarde van $e_{\lambda T}$ voor een bepaalde stof blijkt afhankelijk te zijn van de zuiverheid en de graad van gladheid van het oppervlak. Kleine holten in het oppervlak werken in meerdere of mindere mate als zwarte lichaampjes en verhoogen daardoor de emissie. Teneinde deze bijkomstige zwarte straling te vermijden streeft men bij onderzoekingen over stralingseigenschappen van stoffen er dan ook steeds naar niet alleen zeer zuivere, maar ook zeer gladde oppervlakken te gebruiken.

Van wolfraam zijn de stralingseigenschappen en ook de andere physische eigenschappen veelvuldig onderzocht. Aan de hand van de resultaten dezer onderzoekingen willen wij nu de vragen bespreken,

[2]) Zie: De nieuwe eenheid der lichtsterkte, Philips techn. T. 5, 1, 1940.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

die ons in verband met de wolfraambandlampen interesseeren, nl.:

1) Is het mogelijk, met een wolfraambandje een stralend oppervlak te maken, waarvan de helderheid in verloop van tijd practisch niet verandert?
2) In welke mate zijn de stralingseigenschappen voor verschillende bandjes onderling dezelfde?
3) Kan men met redelijke nauwkeurigheid van de straling van een gloeiend wolfraambandje de relatieve spectrale energieverdeeling opgeven?

Reproduceerbaarheid der straling van een bandje in verloop van tijd

Ook voor wolfraam geldt, dat de straling afhangt van de gesteldheid van het oppervlak. Dit oppervlak kan echter in een reproduceerbare toestand worden gebracht door het materiaal te „verouderen", waartoe het op hooge temperatuur wordt gegloeid in hoogvacuum of in een indifferente atmosfeer. Hierdoor ontstaat een helder spiegelend oppervlak, waarvan de stralingsemissie in verloop van tijd reproduceerbaar blijkt te zijn.

Het is nu gebleken dat het voor de stralingsemissie van een normaal getrokken draad of gewalst band bij hooge temperatuur weinig uitmaakt, of het materiaal vooraf nog gepolijst is. Het verouderen zorgt dus blijkbaar voor een reproduceerbare eindtoestand.

Om de constantheid der straling te onderzoeken is van een gasgevulde bandlamp, waarvan de band bij de vervaardiging tijdens het pompen in hoogvacuum was gegloeid, de stroom bepaald, waarbij de ware temperatuur van het midden van de band 2850 °K bedroeg. Deze stroom werd gedurende 100 uur door de lamp gestuurd, terwijl de helderheid van het midden van de band als functie van de tijd werd gemeten. Deze helderheid bleek binnen de grenzen der meetnauwkeurigheid (0,5%) constant te blijven.

Reproduceerbaarheid van de stralingseigenschappen der bandjes onderling

De reproduceerbaarheid voor de bandjes onderling is van belang in die gevallen, waarbij de spectrale emissiecoëfficient moet worden gebruikt, bijv. ter berekening van de temperatuur of van de spectrale energieverdeeling uit de gemeten helderheidstemperatuur. Daarbij moet als functie van de temperatuur en golflengte de spectrale emissiecoëfficient $e_{\lambda T}$ bekend zijn. Deze waarde ontleent men aan tabellen van $e_{\lambda T}$, welke als resultaat van metingen aan een aantal wolfraamoppervlakken zijn samengesteld. Voor elke golflengte en temperatuur werden nl. waarden van $e_{\lambda T}$ gevonden, die van oppervlak tot oppervlak kleine verschillen vertoonen. Hieruit werden gemiddelde waarden voor $e_{\lambda T}$ gevormd, die men voor een willekeurige bandlamp kan gebruiken.

Het is nu van belang te weten, hoe groot voor deze bandlamp de maximaal te verwachten afwijking is, die tusschen deze gemiddelde waarde en de werkelijke waarde van $e_{\lambda T}$ optreedt. Deze mogelijke afwijking bestaat uit twee gedeelten. In de eerste plaats is er de werkelijke strooiing tusschen de waarden van $e_{\lambda T}$, zooals die, nog verzwaard door toevallige meetfouten, aan den dag treedt bij één onderzoek, waarbij volgens één methode aan verschillende wolfraamoppervlakken van gelijke zuiverheid en vóórbewerking wordt gemeten. Daarbij komt dan nog de mogelijke afwijking van de, als gemiddelde aangenomen waarde voor $e_{\lambda T}$ ten opzichte van de werkelijke gemiddelde waarde voor vele bandjes, welke het gevolg kan zijn van systematische meetfouten.

Bij het overzien van het voorhanden waarnemingsmateriaal blijkt, dat de mogelijke afwijking van de emissiecoëfficient van één bandje ten opzichte van het gemiddelde voor vele bandjes op 1% moet worden gesteld.

Verder moet de mogelijke fout van de als gemiddelde aan te nemen waarde van de emissiecoëfficient worden geschat.

Verschillende onderzoekers geven verschillende gemiddelde waarden op. Ten deele kan dit voortvloeien uit verschil in meetmethode. Daarnaast zal de verschillende zuiverheid en de verschillende oppervlaktebehandeling van het onderzochte wolfraam een rol spelen. Voor onze wolfraambandjes ligt het voor de hand bijzondere waarde te hechten aan de metingen van Hamaker[3]), die juist aan dit materiaal zijn verricht. De mogelijke fout in de door hem opgegeven gemiddelde waarden kan men op 1% stellen. Wanneer we dus zijn gemiddelde waarde gebruiken voor één bepaald wolfraambandje, moeten wij rekening houden met een mogelijke fout van 2%. Dit geldt voor het geheele zichtbare spectraalgebied. Wellicht zijn de mogelijke fouten in het infrarood en in het ultraviolet iets grooter.

De relatieve spectrale energieverdeeling

Voor het berekenen van de relatieve spectrale energieverdeeling moet men de temperatuur van het wolfraam bepalen, voor deze temperatuur de spectrale energieverdeeling van het zwarte lichaam

[3]) H. C. Hamaker, Diss. Utrecht, 1934; L. S. Ornstein, Physica **3**, 561, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

in relatieve maat berekenen en bij elke golflengte de waarde hiervan vermenigvuldigen met de bijbehoorende spectrale emissiecoëfficient $e_{\lambda T}$ van wolfraam.

Aan de hand van een voorbeeld moge worden toegelicht, dat deze methode tot een vrij nauwkeurige kennis van de relatieve spectrale energieverdeeling voert.

Laten wij aannemen, dat de helderheidstemperatuur voor een bepaalde, nauwkeurig bekende, effectieve golflengte 2500 °K bedraagt en dat deze met een mogelijke fout van 10° pyrometrisch wordt bepaald. Hieruit wordt dan de ware temperatuur berekend met behulp van de waarde voor de bijbehoorende spectrale emissiecoëfficient, die 2% fout kan zijn; tengevolge hiervan wordt de mogelijke fout in de ware temperatuur met 6° vergroot. In totaal kan de ware temperatuur dus hoogstens 16° fout zijn. Hoewel een dergelijke fout bij het berekenen van absolute waarden van spectrale intensiteiten der zwarte straling van belang zou zijn, heeft zij op de relatieve spectrale energieverdeeling practisch geen invloed. De onzekerheid, die overblijft, is de mogelijke fout van 2% in de spectrale emissiecoëfficient, waarmee immers de relatieve spectrale intensiteit van het zwarte lichaam moet worden vermenigvuldigd om die van het wolfraam te verkrijgen.

Voor het zichtbare spectraalgebied kan de berekening van de relatieve spectrale energieverdeeling van de straling van wolfraam worden bekort met behulp van het begrip kleurtemperatuur. Experimenteel is nl. gebleken, dat tusschen 4000 en 7000 Å de relatieve spectrale energieverdeeling van de straling van wolfraam bij iedere temperatuur T practisch gelijk is aan die van het zwarte lichaam bij een, iets van T afwijkende, temperatuur T_c. Deze T_c noemt men de bij T behoorende kleurtemperatuur van wolfraam. In *tabel I* is T_c als functie van T opgegeven. Om nu van wolfraam de relatieve spectrale energieverdeeling te berekenen, bepaalt men de ware temperatuur en zoekt de hierbij behoorende kleurtemperatuur T_c aan de hand van tabel I. Vervolgens heeft men dan slechts nog de relatieve spectrale energieverdeeling van de straling van het zwarte lichaam voor deze temperatuur T_c in één van de daarvoor bestaande tabellen op te zoeken.

Tabel I

T	1200 °K	1600	2000	2400	2800
T_c	1210 °K	1616	2023	2432	2844

Uit de hier besproken gegevens over de stralingseigenschappen van wolfraam blijkt, dat de wolfraambandlamp in principe inderdaad kan voldoen aan de eischen, die bij verschillende optische metingen worden gesteld.

Constructie en uitvoering van bandlampen

In verband met de zeer uiteenloopende toepassingen is het wenschelijk gebleken de wolfraambandlampen in verschillende vormen uit te voeren. De verschilpunten betreffen in hoofdzaak de vorm van de ballon, de afmetingen en de montage van de band en de uitvoering als vacuum- of als gasvullingslamp, zooals wij nu nog nader willen behandelen.

Vorm van de ballon

Wanneer aan de optische afbeelding van het bandje geen hooge eischen worden gesteld en wanneer bovendien de spectrale doorlatingskromme van de ballonwand slechts globaal bekend behoeft te zijn, kan men de eenvoudige cylindrische ballon gebruiken, die in *fig. 2* is afgebeeld. Normaal wordt deze ballon van hittebestendig glas gemaakt. Voor het geval, dat men de lamp ook in het ultraviolet voor golflengten kleiner dan 3500 Å of in het infrarood voor golflengten grooter dan 25 000 Å wil gebruiken, kan een ballon van helder kwartsglas worden genomen.

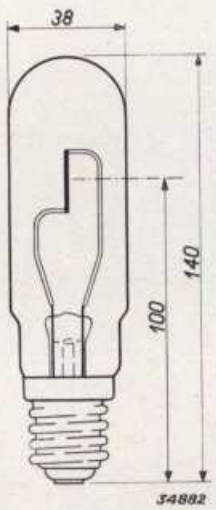


Fig. 2. Bandlampje met cylindrische ballon. De afmetingen zijn aangeduid in mm.

Stelt men aan de optische afbeelding van het bandje wel hooge eischen, dan verdient de hoornvormige ballon met aangesmolten vlak venster de voorkeur (*fig. 3*). De straling van het bandje treedt hierbij nl. naar buiten door een planparallel geslepen venster, dat aan de ballon wordt gesmolten. De vorm van de ballon is zoo gekozen, dat de straling van de achterkant van het bandje, die door de achterwand wordt gereflecteerd, niet door het

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

venster naar buiten treedt. De combinatie van deze beide maatregelen maakt het mogelijk, het bandje zeer goed optisch af te beelden en ook om bij foto-

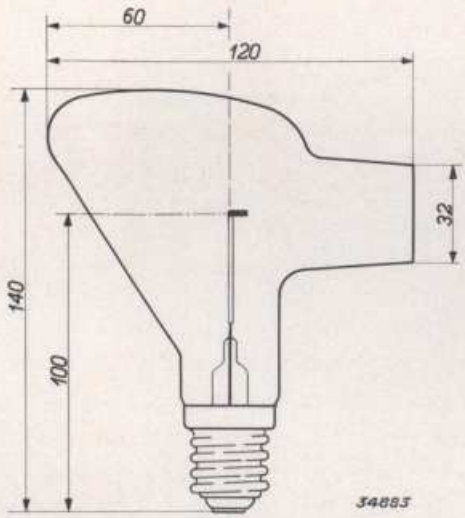


Fig. 3. Bandlampje met hoornvormige ballon, voorzien van een aangesmolten vlak venster. De maximale dwarsafmeting van de ballon is 42 mm.

metrische toepassing de wet van de variatie van de verlichtingssterkte met het omgekeerde van het kwadraat van de afstand nauwkeurig te kunnen toepassen. Het planparallel geslepen venster wordt vervaardigd van hittebestendig glas of van kwartsglas. Bij nauwkeurige metingen kan het noodig zijn de spectrale energieverdeeling van de straling van het bandje te corrigeeren voor de absorptie door het venster. Hiervoor is het noodig, dat de spectrale doorlatingskromme van het venster wordt bepaald, voordat dit venster aan de ballon wordt gesmolten.

Bij spectraalfotometrische onderzoekingen kan de in *fig. 4* afgebeelde ballon met twee scheef geplaatste vlakke vensters vaak worden ge-

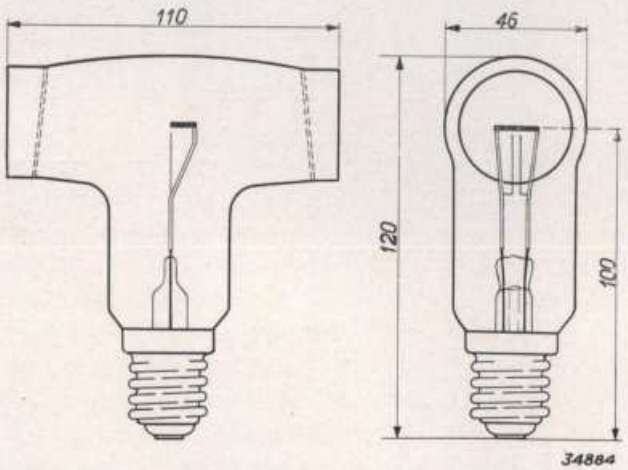


Fig. 4. Zij- en vóóraanzicht van een bandlampje met een ballon, die voorzien is van twee scheef geplaatste vlakke vensters. De maten zijn in mm aangegeven.

bruikt. Bij dergelijke onderzoekingen komt het nl. voor, dat men de te onderzoeken lichtbron wil afbeelden in het vlak van het wolfraambandje om vervolgens dit vlak weer op het spleetvlak van het spectraalapparaat af te beelden. Bij een verticale spleet en een horizontaal bandje bereikt men op deze wijze, dat de spleet over een kleine hoogte door het bandje en voor het overige door de te onderzoeken lichtbron wordt verlicht. Bij gebruik van de in fig. 4 geschetste ballon kan de optische afbeelding door de vlak geslepen vensters aan hooge eischen voldoen. Door het scheef plaatsen van de vensters op de in de figuur aangegeven wijze worden storende reflecties op voor- of achterwand voorkomen. Evenals bij de hoornvormige ballon kunnen vensters van hittebestendig glas of van kwartsglas worden gebruikt. De spectrale doorlatingskromme van elk venster afzonderlijk kan, indien noodig, vóór het aansmelten worden gemeten.

In fotometers van kleine afmetingen, bij eenvoudige spectraalfotometrische opstellingen en in vele andere gevallen bestaat de behoefte aan een bandlamp met kleine ballon en klein vermogen. Hieraan voldoet de lamp met kleine bolvormige ballon (*fig. 5*), die uitsluitend van kalkglas wordt gemaakt en waarin slechts bandjes van 0,5 mm breedte worden gemonteerd.

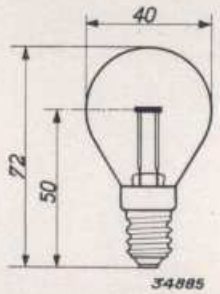


Fig. 5. Bandlampje met kleine bolvormige ballon.

Montage en afmetingen van de band

Bij de montage wordt het bandje aan weerskanten aan een nikkelen pool gelascht, die betrekkelijk dik moet zijn, omdat anders de temperatuur van het nikkel op de laschplaats de voor dit metaal toelaatbare maximale temperatuur zou overschrijden.

Natuurlijk verloopt de temperatuur aan de einden van de band sterk tengevolge van de warmteafvoer naar de polen. Bij sommige metingen zouden deze afgekoelde eindstukken storend kunnen werken. Om dit te voorkomen is de band aan weerskanten gebogen, zooals in *fig. 6* is aangegeven. Op deze wijze bereikt men, dat de afgekoelde eindstukken worden afgeschermd door het middenstuk van de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

band, waarvan men de straling wil gebruiken. Door deze maatregel wordt tevens bereikt, dat de uitzetting van de band bij verhitting practisch geen aanleiding geeft tot storende spanningen of vormveranderingen. De lengte van de omgebogen eindstukken bedraagt steeds 5 mm. De bruikbare bandlengte kan 10 of 20 mm zijn en de bandbreedte 1 of 2 mm en in enkele uitvoeringen 0,5 mm.

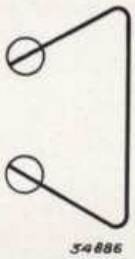


Fig. 6. De band wordt zoodanig gebogen, dat de afgekoelde eindstukken worden afgeschermd door het midden van de band.

Wil men voor een bepaalde toepassing de geschikte bandlamp kiezen uit de in *tabel II* opgegeven uitvoeringsvormen, dan zal men daarbij van verschillende gezichtspunten uitgaan. Bij spectraalfotometrische toepassingen zullen de condities van de gewenschte optische afbeelding de doorslag geven. Beeldt men de band dwars op de spleet af, dan kan men met een korte band volstaan. Wil men een verticale band op de spleet afbeelden, dan verdient gewoonlijk een lange band de voorkeur.

Bij algemeen fotometrisch werk kan ook de gewenschte totale lichtsterkte de doorslag geven.

Tabel II

Ballon	Bandbreedte in mm	Stand van de band	Bruikbare bandlengte in mm
cylindrisch model van hittebestendig of kwartsglas	2 of 1	horizontaal verticaal	10, 10 of 20*
hoornmodel met één vlak venster van hittebestendig of kwartsglas	2 of 1	horizontaal of verticaal	10 of 20*
model met twee scheef geplaatste vensters van hittebestendig of kwartsglas	1 0,5	horizontaal horizontaal	20* 10*
klein bolvormig model van kalkglas	0,5	horizontaal	10

* Eventueel met index bij het midden van de band.

Overigens zal men er steeds op uit zijn ter voorkoming van noodeloos stroomverbruik de band zoo smal mogelijk te kiezen. Voor vele toepassingen is het gewenscht, dat een bepaald punt van de band, gewoonlijk het midden, door een index is aangegeven. Bij alle lampen met bruikbare bandlengte van 20 mm kan zulk een index in de vorm van een draadpunt opzij in het vlak van de band worden aangebracht.

Vacuumlamp of gasvullingslamp

De wolfraambandlampen kunnen als vacuumlamp of als gasvullingslamp worden uitgevoerd. In het algemeen zal men een gasvullingslamp prefereeren, omdat hiermee bij dezelfde levensduur een hoogere brandtemperatuur en dus ook een grootere helderheid kan worden verkregen dan met de vacuumlamp. Voor spectraalfotometrisch werk in het blauw en ultraviolet is dit een belangrijk voordeel van de gasvullingslamp.

Zooals wij reeds zagen, werkt het gas niet storend op de reproduceerbaarheid der straling in verloop van tijd, mits men de lamp steeds in dezelfde stand laat branden. Wel heeft het gas eenige invloed op de temperatuurverdeeling van het bandje. Bij de vacuumlamp wordt deze temperatuurverdeeling zeer gelijkmatig, daar slechts kleine afwijkingen worden veroorzaakt door toevallige kleine ongelijkmatigheden in afmetingen en eigenschappen van de band en door de warmte-afvoer naar de polen. Bij de gasvullingslamp is ook de strooming van het verhitte gas van invloed. Voor het ongunstigste geval, nl. voor een gasvullingslamp met verticale band van 2 mm breedte en 20 mm bruikbare lengte is bij een gemiddelde temperatuur van 2500 °K de bovenkant van het bandje niet meer dan 25° warmer dan de onderkant. Daar men in het algemeen slechts het middenstuk van de draad gebruikt, is dit temperatuurverschil echter niet van belang; anders moet men tot een vacuumlamp overgaan.

Tengevolge van de warmte-afvoer door het gas moet men om een bepaalde temperatuur te bereiken bij de gasvullingslamp een hoogere stroom gebruiken dan bij de vacuumlamp. Ter oriënteering diene, dat bij de gasvullingslamp met band van 2 mm breedte de normale maximale gebruikstemperatuur van 2800 °K wordt bereikt bij een stroomsterkte van 17,5 A, een temperatuur van 2300 °K bij 12,8 A. Bij de vacuumlamp is deze temperatuur van 2300 °K normaal en wordt reeds bereikt bij 10,8 A.

Bewerkt door J. VOOGD.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

METINGEN IN HET PHILIPS EDELGASBEDRIJF

door H. C. A. HOLLEMAN.

545.7 : 661.93

In verband met de gloeilampenfabricage moeten in het Philips edelgasbedrijf op groote schaal metingen van de samenstelling van argon-stikstof-mengels worden uitgevoerd. Twee methoden, die hierbij worden toegepast, worden in dit artikel besproken: de eerste berust op een bepaling van het soortelijk gewicht van het mengsel met behulp van een veerbalans, de tweede berust op een meting van de dampdruk van het mengsel bij de temperatuur van kokende zuurstof.

Bij het uitvoeren van metingen noodig voor de contrôle van producten of van de gang van de fabricage, worden in talrijke bedrijven methoden toegepast, die sterk van de gebruikelijke laboratoriummethoden afwijken. Dit komt eensdeels omdat men ze aangepast heeft aan bijzondere eischen van het bedrijf, anderzijds doordat men gebruik kan maken van mogelijkheden, die elders niet gegeven zijn. In het Philips edelgasbedrijf hebben beide factoren een rol gespeeld bij de keuze van de methoden, die toegepast worden om de samenstelling van gasmengels te bepalen.

Een van de belangrijkste gasanalyses is de bepaling van de samenstelling van argon-stikstof-mengsels, die als vulling van gloeilampen worden gebruikt en wier argongehalte het rendement van de gloeilampen beïnvloedt. Een zeer groote nauwkeurigheid of gevoeligheid van de meetmethode is in het algemeen niet vereischt. Wel is echter gewenscht, dat de meting vlug kan geschieden en zonder groote bedrevenheid kan worden uitgevoerd.

In een vroeger artikel in dit tijdschrift [1]) werd reeds vermeld, dat men de samenstelling van een argon-stikstof-mengsel langs chemische weg kan bepalen met behulp van metallisch lithium, dat in een toestand kan worden gebracht, waarin het in staat is groote hoeveelheden stikstof te absorbeeren. Deze methode leent zich voor het uitvoeren van zeer nauwkeurige metingen (die dan echter ook vrij veel tijd en routine vereischen) en ook voor het bepalen van zeer kleine edelgas-gehaltes, dus voor de contrôle van de zuiverheid van stikstof.

Voor het doel, dat hierboven werd uiteengezet, nl. een snel en gemakkelijk uit te voeren bepaling zoowel van groote als van kleine argon-gehaltes in stikstof, is de genoemde methode minder geschikt. Waar het hier echter gaat om een mengsel, dat uitsluitend bestaat uit twee gassen, laat zich de analyse ook langs zuiver physische weg uitvoeren door een of andere physische grootheid te meten, welke op een bepaalde wijze verloopt voor de reeks der gasmengsels tusschen 100% stikstof en 100% argon. Twee grootheden blijken voor dit onderzoek geschikt te zijn: het soortelijk gewicht en de dampdruk van het mengsel.

[1]) Philips techn. T. 4, 136, 1939.

Analyse van argon-stikstof-mengels door bepaling van het soortelijk gewicht

Het soortelijk gewicht van stikstof (ten opzichte van lucht) is 0,9672 en dat van argon 1,3796, het verschil is dus 0,4124 en 1% verschil in samenstelling geeft een verandering van 0,0041 in het soortelijk gewicht. Wil men op 1% nauwkeurig meten, dan moet de bepaling van het soortelijk gewicht dus op enkele promille nauwkeurig geschieden.

Een zeer gemakkelijke indirecte methode om het soortelijk gewicht van gassen te bepalen is die van Bunsen-Schilling, waarbij de snelheid van de uitstrooming door een klein gaatje gemeten wordt. Deze snelheid is bij gegeven drukverschil en temperatuur omgekeerd evenredig met de wortel uit het soortelijk gewicht. De inwendige wrijving en andere factoren maken echter, dat deze wet niet nauwkeurig opgaat, zoodat geen hoogere nauwkeurigheid dan 1 tot 2 punten in de tweede decimaal kan worden bereikt. Deze methode is dus voor ons doel onbruikbaar.

Een directe bepaling van het soortelijk gewicht, bestaande in het nauwkeurig wegen van een ballon met gas, is nauwkeurig genoeg, doch is vrij bewerkelijk en eischt groote behendigheid in de uitvoering. Een vereenvoudiging werd reeds bereikt door de ballon niet met het te onderzoeken gas te vullen, maar in een uitwendige atmosfeer van het te onderzoeken gas te brengen en door wegen zijn opdrijvende kracht te bepalen (baroscoop). Een verdere vereenvoudiging wordt verkregen door het soortelijk gewicht van het gas niet rechtstreeks te meten maar in plaats hiervan de druk te bepalen, die het te onderzoeken gas moet hebben om hetzelfde soortelijk gewicht te bezitten als droge koolzuurvrije lucht van dezelfde temperatuur en atmosferische druk. Hebben de lucht en een argon-stikstof-mengsel bij dezelfde temperatuur het-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

zelfde soortelijk gewicht, dan is de verhouding van hun drukken direct een maat voor de samenstelling van het argon-stikstof-mengsel [2]).

Tenslotte bleek, dat men zonder een al te groot verlies aan nauwkeurigheid het wegen aanzienlijk kon vergemakkelijken door in plaats van een hefboombalans een veerbalans te gebruiken.

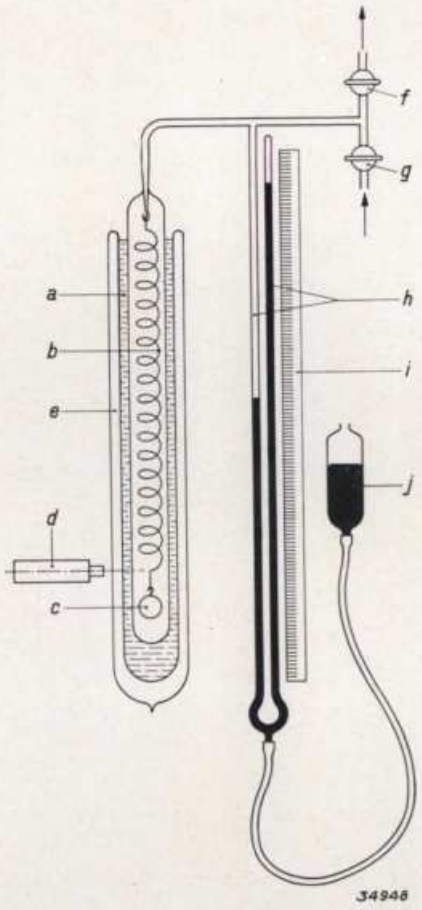


Fig. 1. Apparatuur met veerbalans voor het meten van het soortelijk gewicht van gasmengsels. *a* buis, die via de kraan *g* met het te onderzoeken gas wordt gevuld; *b* veer (molybdeendraad); *c* ballonnetje, waarop het gas een opwaartsche kracht uitoefent evenredig met het soortelijk gewicht; *d* microscoop met kruisdraad om de stand van de veer te controleeren; *e* Dewar-vat, gevuld met water om de temperatuur van het gas constant te houden; *f* uitlaatkraan, verbonden met vacuumpomp; *h* buizen van een manometer met schaal *i*; *j* kwikreservoir, dat op en neer kan worden bewogen om de druk van het mengsel iets te veranderen en zoodoende het merkteeken van de veer nauwkeurig op de kruisdraad te doen inspelen.

In *fig. 1* is het apparaat schetsmatig afgebeeld. *a* is een kolom, die het gas bevat, waarvan we het soortelijk gewicht willen bepalen. In deze kolom hangt een spiraalveer *b*, die het ballonnetje *c* draagt. De uitrekking van de veer is een maat voor het gewicht van de ballon, verminderd met de opwaartsche druk, die de ballon ondergaat in de atmosfeer van het te onderzoeken gas. Deze laatste is gelijk aan het soortelijk gewicht van het gas, vermenigvuldigd met het volume van de ballon.

Om de uitrekking van de veer nauwkeurig te kunnen aflezen gebruikt men een microscoop *d*, waarin zich een horizontale kruisdraad bevindt. Men kan daarmede een aan de veer bevestigd merkteeken waarnemen en kan dit door regeling van de druk van het argon-stikstof-mengsel doen inspelen op de kruisdraad.

Om de temperatuur in de kolom *a* constant te houden is deze omringd door een waterbad in een vacuumglas *e*. Dit glas is verzilverd behalve op een strook, waardoor de microscoop kijkt. Door de kraan *f* kan de kolom luchtledig worden gemaakt en door *g* kan het te onderzoeken gas worden ingelaten. De druk wordt afgelezen op de kwikmanometer *h* met schaal *i*. Door het reservoir *j* op en neer te bewegen kan men met afgesloten kranen *f* en *g* de druk nog een weinig varieeren.

De veer werd oorspronkelijk uit kwarts vervaardigd, omdat dit materiaal bijzonder geschikt is door zijn kleine elastische nawerking en zijn chemische indifferentie [3]).

Toen later gevonden werd, dat molybdeen eveneens bruikbaar was, werd hieraan de voorkeur gegeven, daar de groote breekbaarheid van het kwarts een bezwaar bleek te zijn. De veer moet natuurlijk uiterst slap zijn om voldoende gevoeligheid te verkrijgen. Om dezelfde reden is het gewenscht het volume van het ballonnetje zoo groot mogelijk te maken. Anderzijds mag het ballonnetje niet te zwaar zijn, omdat anders de slappe veer boven de elasticiteitsgrens zou worden belast. De gebruikte molybdeendraad heeft een dikte van 0,12 mm en is met zeer geringe spoed in 17 windingen om een doorn van 28 mm diameter gewikkeld. De gevoeligheid bedraagt ongeveer 1 mm uitrekking voor 1 mg belasting. Het ballonnetje weegt ca. 300 mg en geeft dus 300 mm uitrekking van de veer, waarbij de elasticiteitsgrens nog niet wordt overschreden. Het volume van het ballonnetje is ca. 15 cm³. De opdrijvende kracht van atmosferische lucht (760 mm en 20 °C) op het ballonnetje is dus ca. 18 mg. Een drukvariatie van 1 mm geeft dus een variatie van deze kracht van $18/760 = 0{,}02$ mg, overeenkomende met een verplaatsing van het merkteeken met 0,02 mm. Deze verplaatsing is in de microscoop nog juist goed waar

[2]) Hierbij wordt ondersteld, dat de wet van Boyle streng geldt, hetgeen in ons geval toelaatbaar is. Meet men met zeer groote nauwkeurigheid en heeft men te maken met gemakkelijk condenseerbare gassen, dan kan het noodig zijn met afwijkingen van de ideale gaswetten rekening te houden.

[3]) Philips techn. T. 1, 126, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

te nemen en komt dus ongeveer overeen met de nauwkeurigheidsgrens van het apparaat. Dezelfde grens is ook gegeven door de nauwkeurigheid, waarmede de gasdruk kan worden afgelezen. Daar 1 mm Hg ongeveer 1,3 promille van de totale druk (~1 atm) is en een verandering van de samenstelling van het mengsel met 1% overeenkomt met een drukverandering van 4 promille vindt men, dat de samenstelling van een argon-stikstof-mengsel ongeveer op 0,3% nauwkeurig kan worden bepaald.

Om deze nauwkeurigheid inderdaad te bereiken is het van groot belang, dat de veer vrij van elastische nawerking is en dat het ballonnetje bij drukvariatie niet meetbaar van vorm verandert. Dit is door talrijke contrôlemetingen nagegaan; binnen de waarnemingsgrens van het apparaat werd geen fout gevonden. De temperatuurgevoeligheid is natuurlijk groot, zelfs meer dan 1/273 per °C, vermoedelijk omdat de veerkracht van het molybdeen afneemt met toenemende temperatuur. Dank zij het waterbad en het vacuumglas blijft echter de temperatuur voldoende constant, zoodat de temperatuurinvloed niet hinderlijk is.

Een groot voordeel van de veerbalans ten opzichte van een hefboombalans is, dat ze nagenoeg aperiodisch is. Treedt een evenwichtsstoring in, bijv. door drukverhooging, dan ziet men de balans enkele schommelingen maken met een periode van omstreeks $^1/_2$ seconde, binnen enkele seconden is echter de beweging zoo sterk gedempt, dat er zelfs met de microscoop niets meer van te zien is. Het schommelen van het kwik in de manometer duurt dan ook in de regel langer dan dat van de veerbalans.

De totale duur van een meting bedraagt ongeveer 5 minuten; een groote bedrevenheid van de uitvoerende is niet vereischt. Eenzelfde tijd moet men rekenen voor de voorafgaande ijking van de apparatuur met droge, koolzuurvrije lucht. Het ijken behoeft echter in het algemeen slechts één keer te gebeuren voor een geheele serie van metingen.

Het spreekt vanzelf, dat met de veerbalans ook andere gassen onderzocht kunnen worden dan argon-stikstof-mengsels. Onderzoekt men bijv. mengsels, die waterstof bevatten, dan kan het voorkomen, dat het soortelijk gewicht van het te onderzoeken gas bij 1 atm aanmerkelijk kleiner is dan dat van lucht. In dat geval zou men, om de vergelijking met lucht door te voeren, het te onderzoeken gasmengsel onder een druk van eenige atmosferen moeten brengen, hetgeen met het oog op de lichte constructie van het ballonnetje ongewenscht is. Het verdient in dat geval derhalve aanbeveling de lucht tot een lagere druk dan 1 atm in te laten; dit brengt mede, dat de microscoop dan iets naar beneden moet worden verschoven.

Analyse van argon-stikstof-mengels door bepaling van de dampspanning

Daar in het Philips edelgasbedrijf op groote schaal vloeibare zuurstof wordt geproduceerd is het te allen tijde mogelijk de temperatuur van het kookpunt van zuurstof, nl. —183 °C, te realiseeren. Het kookpunt van argon ligt iets beneden dat van zuurstof, nl. bij —185 °C. Brengt men argon op de temperatuur van kokende zuurstof, dan is zijn dampspanning dus grooter dan 1 atmosfeer; men vindt inderdaad, dat pas bij een druk van 1050 mm

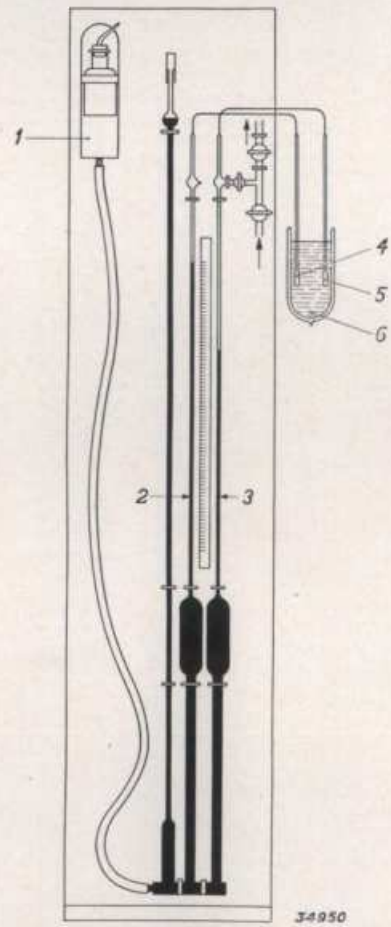


Fig. 2. Apparatuur voor de bepaling van de dampdruk van argon-stikstof-mengsels. Door het kwikreservoir *1* naar beneden te halen laat men het kwik uit te buizen *2* en *3* wegloopen. De buis *2* is permanent gevuld met zuiver argon, terwijl de buis *3* via de kranen met het te onderzoeken mengsel wordt gevuld. Na afsluiten van de kranen wordt het kwikreservoir weer omhooggebracht. Daardoor worden de verwijde gedeelten van de buizen *2* en *3* met kwik gevuld en het verdrongen gas wordt door nauwe capillairen in de buisjes *4* resp. *5* geperst, die in vloeibare zuurstof zijn gedompeld (Dewar-vat *6*).

Daar de gassen in deze buisjes condenseeren, geeft de stand van de kwikzuil in de buizen *2* en *3* de dampdruk van zuiver argon resp. van het te onderzoeken gas. De schaal is geijkt in procenten stikstof. In buis *2* moet de kwikzuil dus op nul staan, hetgeen een contrôle levert op de zuiverheid van de kokende zuurstof in het Dewar-vat.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

condensatie optreedt. Met toenemend stikstofgehalte van een argon-stikstof-mengsel neemt de dampspanning toe; zuivere stikstof heeft bij de temperatuur van kokende zuurstof een dampspanning van 3,6 atm.

Wil men de samenstelling van een gasmengsel bepalen door na te gaan, bij welke druk het mengsel begint te condenseeren, dan moet men bedenken, dat de samenstelling van het condensaat in het algemeen niet dezelfde is als die van het gas. Het minder vluchtige bestanddeel, in ons geval dus argon, vertoont een neiging om in de vloeistof te worden geconcentreerd, terwijl in het gas een vermindering van het argon-gehalte optreedt. Pas wanneer de condensatie bijna geheel is voltooid, kan men zeggen, dat de samenstelling van de vloeistof overeenstemt met de oorspronkelijke samenstelling van het gas.

Op dit principe berust de bepaling van de samenstelling van argon-stikstof-mengsels met behulp van de in *fig. 2* weergegeven apparatuur. Men begint de meting met het kwikreservoir *4* omlaag te halen, zoodat de kwikkolom *3* leeg loopt en het verwijde gedeelte daarvan met het te onderzoeken mengsel wordt gevuld. Sluit men nu de kranen en brengt men het kwikvat weer omhoog, dan wordt het gasmengsel vrijwel geheel gecondenseerd in het buisje *6*, dat zich in kokende zuurstof bevindt. De hoogte, die de kwikkolom aanneemt, vormt een maat voor de dampdruk van het mengsel.

In *fig. 3* is de dampdruk van het argon-stikstof-mengsel als functie van de samenstelling aangegeven. Naar gelang men de abscis beschouwt als samenstelling van de vloeistof, resp. de damp, verkrijgt men de bovenste resp. de onderste kromme. Wij hebben met het eerste geval te maken en zien, dat de dampdruk vrijwel lineair met de stikstofconcentratie toeneemt. Bij 10% stikstof bedraagt de nauwkeurigheid van het apparaat ongeveer 0,3%; voor groote stikstof-gehaltes is het apparaat niet te gebruiken, omdat de dampdruk te groot wordt. Bovendien stelt het evenwicht tusschen de vloeistoffase en de gasfase, die slechts door een nauwe capillair met elkaar zijn verbonden, zich des te moeilijker in, naarmate het verschil in samenstelling tusschen beide fasen grooter is.

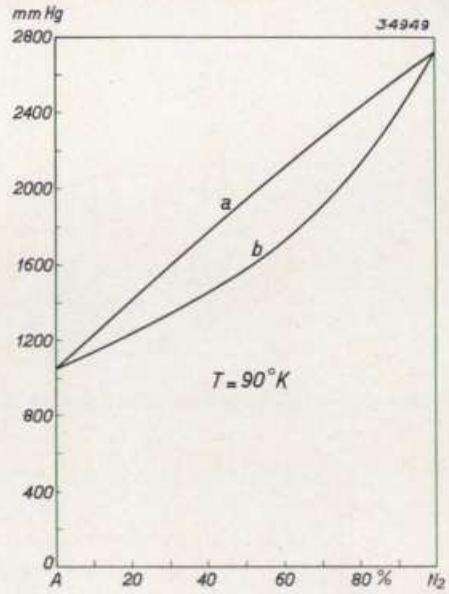


Fig. 3. Dampdruk van argon-stikstof-mengels bij —183 °C als functie van de samenstelling van de vloeistof (*a*) resp. van het gas (*b*).

Dit verschil neemt toe met de concentratie van de stikstof, die derhalve niet grooter mag zijn dan 25%.

Het groote voordeel van het apparaat is, dat het zeer snel werkt. Een bepaling duurt slechts ongeveer 2 minuten en kan na eenige oefening door iedereen worden uitgevoerd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!